

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

KLIMATICKÉ ZKOUŠKY KALIBRÁTORU 9010

CLIMATIC TESTS OF THE CALIBRATOR 9010

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mikuláš Plánka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Mikuláš Plánka

ID: 211168

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Klimatické zkoušky kalibrátoru 9010

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvoření návrh testovací procedury pro ověření funkčnosti kalibrátoru 9010 v rozdílných klimatických podmínkách. Práce je vypisována ve spolupráci s firmou Meatest, s.r.o.

1. Udělejte literární rešerši v oblasti klimatických (teplotních a vlhkostních) zkoušek.
2. Seznamte se s programem Caliber firmy Meatest s.r.o. pro automatizované kalibrace se zaměřením na vytvoření automatizované procedury. Program Caliber popište.
3. Seznamte se s kalibrátorem 9010, zaměřte se na specifikace v závislosti na změně teploty a vlhkosti. Popište základní vlastnosti a funkce kalibrátoru.
4. Navrhněte testovací body pro ověření správné funkčnosti přístroje v rozdílných klimatických podmínkách a z těchto bodů sestavte kalibrační proceduru s minimalizací ručního přepojování svorek.
5. Proveďte praktická měření s využitím vytvořené kalibrační procedury v programu Caliber.
6. Dosažené výsledky měření zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Uživatelská příručka programu Caliber. Online. <https://www.meatest.com/files/download/man/caln.pdf>

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jan Bartoň

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá klimatickým testováním Kalibrátoru 9010. Obsahem této práce je teoretický rozbor problematiky klimatických zkoušek. Dále jsou zde popsány vlastnosti programu Caliber, který je v této práci využíván pro automatizované měření. Další kapitolou v práci je popis vlastností a funkcí Kalibrátoru 9010. V praktické části práce jsou navrženy body samotného měření. Na základě návrhu bodů je vytvořena procedura v programu Caliber, které slouží k realizaci samotného měření. Naměřené výsledky v práci byly zhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

kalibrátor 9010, Caliber, klimatické zkoušky, klimatická komora, procedura, teplotní závislosti, normalizace

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with climatic testing of Calibrator 9010. The content of this work is a theoretical analysis of climatic tests. Furthermore, the properties of the Caliber program are described here. Caliber program in this work is used for automated measurement. The next chapter in the work is a description of the properties and functions of the Calibrator 9010. In the practical part of the work, the points of the measurement itself are proposed. Based on the design of points, a procedure is created in the Caliber program. Procedure is used to measure data. The measured results in the work were evaluated.

KEYWORDS

calibrator 9010, Caliber, climatic tests, climatic chamber, procedure, temperature dependences, normalization

PLÁNKA, Mikuláš. *Klimatické zkoušky kalibrátoru 9010*. Brno, 2021, 80 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Klimatické zkoušky kalibrátoru 9010“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí diplomové práce paní Ing. Soně Šedivé, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Bartoňovi za odborné konzultace a za dohled nad měřením. Závěrem bych rád poděkoval Lydii Molíkové za gramatickou korekci.

Obsah

Úvod	14
1 Klimatické zkoušky	15
1.1 Přehled druhů zkoušek	16
1.2 Účinky parametrů prostředí	16
1.3 Zkouška chladem	16
1.3.1 Stupně přísnosti	17
1.3.2 Průběh zkoušky chladem	17
1.4 Zkouška suchým teplem	17
1.4.1 Stupně přísnosti	17
1.4.2 Průběh zkoušky suchým teplem	18
1.5 Zkouška změnou teploty	18
1.5.1 Stupně přísnosti	18
1.6 Vlhké teplo cyklické	18
1.7 Vlhké teplo konstantní	19
1.8 Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí	19
2 Popis programu Caliber	20
2.1 Součásti programu Caliber	21
2.2 Sestavení kalibrační procedury	21
2.3 Modul procedury	23
2.3.1 Stavové okno	23
2.3.2 Okno schémat přístrojů	23
2.3.3 Okno kamery	24
2.3.4 Okno odměry	24
2.3.5 Okno protokol	24
2.3.6 Informační řádek	25
2.4 Modul Karta přístroje	25
2.4.1 Kalibrační data	25
2.4.2 Stavové okno	25
2.4.3 Dálkové ovládání	26
2.4.4 Specifikace	26
2.5 Modul Uživatelské funkce	26
2.6 Modul Pravidla generování	27

3	Použité přístroje	28
3.1	Kalibrátor 9010	28
3.1.1	Základní funkce generované Kalibrátorem 9010	29
3.1.2	Stejnoseměrné napětí	29
3.1.3	Střídavé napětí	30
3.1.4	Stejnoseměrný proud	30
3.1.5	Střídavý proud	31
3.1.6	Odpor	31
3.1.7	Kapacita	31
3.1.8	Stálý odpor	33
3.1.9	Stálá kapacita	33
3.2	Multimetr FLUKE 8588A	33
3.3	Klimatická komora CLIMACELL 222	34
4	Návrh testovaných bodů	35
4.1	Kontrolované funkce	35
4.2	Testované klimatické podmínky	35
4.3	Rozsahy hodnot měřených funkcí	35
4.4	Body měření	36
4.4.1	Stejnoseměrné napětí a proud	36
4.4.2	Střídavé napětí a proud	36
4.4.3	Odpory a kapacity	37
4.4.4	Stálý odpor a kapacita	37
5	Postup při zkoušce	38
5.1	Měření napětí	39
5.2	Měření proudu	39
5.3	Měření odporů a kapacit	40
6	Vytvoření procedur	41
6.1	Procedura pro měření napětí a proudů	41
6.2	Procedura pro měření odporů a kapacit	44
7	Zhodnocení naměřených dat	45
7.1	Teplotní korekce	45
7.1.1	Přepočet hodnot s korekcí teploty	45
7.2	Normalizace hodnot	46
7.3	Stejnoseměrné napětí	47
7.3.1	Kladný rozsah napětí	47
7.3.2	Záporný rozsah napětí	49

7.3.3	Shrnutí	50
7.4	Stejnosměrný proud	50
7.4.1	Kladný rozsah proudu	51
7.4.2	Záporný rozsah proudu	52
7.4.3	Shrnutí	53
7.5	Střídavé napětí	53
7.5.1	Závislost na teplotě	53
7.5.2	Závislost na vlhkosti	55
7.5.3	Shrnutí	55
7.6	Střídavý proud	55
7.6.1	Závislost na teplotě	55
7.6.2	Závislost na vlhkosti	56
7.6.3	Shrnutí	57
7.7	Odpor	57
7.7.1	Závislost na teplotě	57
7.7.2	Závislost na vlhkosti	58
7.7.3	Shrnutí	58
7.8	Stálý odpor	58
7.8.1	Závislost na teplotě	58
7.8.2	Závislost na vlhkosti	59
7.8.3	Shrnutí	59
7.9	Kapacita	59
7.9.1	Závislost na teplotě	60
7.9.2	Závislost na vlhkosti	61
7.9.3	Shrnutí	61
7.10	Stálá kapacita	61
7.10.1	Závislost na teplotě	61
7.10.2	Závislost na vlhkosti	62
7.10.3	Shrnutí	62
7.11	Shrnutí výsledků	63
	Závěr	64
	Literatura	65

Seznam obrázků

2.1	Ukázka protokolu vytvořeného programem Caliber [9]	20
2.2	Okno modulu procedury [9]	23
2.3	Popsané schema procedury [9]	24
2.4	Popsaný blok přístroje [9]	24
2.5	Modul karty přístroje [9]	25
2.6	Modul Uživatelské funkce [9]	26
2.7	Modul Pravidla generování [9]	27
3.1	Blokové schema přístrojů [9]	28
3.2	Kalibrátor 9010 [10]	28
3.3	Multimetr Fluke 8588A	34
5.1	Diagram postupu při zkoušce	38
5.2	Reálné zapojení přístroje pro měření stejnosměrného a střídavého napětí	39
5.3	Reálné zapojení přístroje pro měření stejnosměrného a střídavého proudu	40
5.4	Reálné zapojení přístroje pro měření odporů a kapacit	40
6.1	Přístroje v programu CALIBER	41
6.2	Schéma zapojení v programu CALIBER pro měření napětí a proudů .	42
6.3	Funkce v programu CALIBER	42
6.4	Rozsahy v programu CALIBER	42
6.5	Body v programu CALIBER	43
6.6	Procedura v programu CALIBER	43
6.7	Schéma zapojení pro měření odporů a kapacit	44
7.1	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybra- ných kladných hodnotách funkce stejnosměrného napětí pro jednot- livé teploty při vlhkosti 40%	47
7.2	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodno- tách teploty pro jednotlivé body měření funkce stejnosměrného napětí na rozsahu 1kV (-1kV) při vlhkosti 40%	48
7.3	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání spe- cifikace na kladných hodnotách bodů měření stejnosměrného napětí při teplotě 23°C	49
7.4	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hod- notách teploty pro jednotlivé body měření funkce stejnosměrného proudu na rozsahu 20A (-20A) při vlhkosti 40%	51
7.5	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodno- tách teploty pro jednotlivé body měření funkce střídavého proudu na rozsahu 20V při vlhkosti 40%	54

7.6	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách teploty pro jednotlivé body měření funkce střídavého proudu na rozsahu 2A při vlhkosti 40%	56
7.7	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce odporu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	57
7.8	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce stálého odporu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	59
7.9	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce kapacity pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	60
7.10	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce stálé kapacity pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	62
7.11	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných záporných hodnotách funkce stejnosměrného napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	71
7.12	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných kladných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	71
7.13	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných záporných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	72
7.14	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	72
7.15	Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%	73
7.16	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na záporných hodnotách bodů měření stejnosměrného napětí při teplotě 23°C	74
7.17	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na kladných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C	74
7.18	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na záporných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C	75
7.19	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření střídavého napětí při teplotě 23°C	75
7.20	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření střídavého proudu při teplotě 23°C	76

7.21	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření odporu při teplotě 23°C	76
7.22	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálého odporu při teplotě 23°C .	77
7.23	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření kapacity při teplotě 23°C	77
7.24	Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálé kapacity při teplotě 23°C . .	78
7.25	Fotografie laboratorního pracoviště	79

Seznam tabulek

1.1	Tabulka druhů zkoušek [1]	16
3.1	Absolutní nejistoty měření při generování stejnosměrného napětí [10]	30
3.2	Absolutní nejistoty měření při generování střídavého napětí [10]	30
3.3	Absolutní nejistoty měření při generování stejnosměrného proudu [10]	31
3.4	Absolutní nejistoty měření při generování střídavého proudu [10]	31
3.5	Nejistoty měření při simulování odporu [10]	32
3.6	Nejistoty měření při simulování kapacity [10]	32
3.7	Nejistoty měření při stálém odporu [10]	33
3.8	Nejistoty měření při stálé kapacitě [10]	33
4.1	Tabulka testovaných teplot	36
7.1	Tabulka korekce teploty a normalizace hodnot	45
7.2	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace stejnosměrného napětí na rozsahu 1 kV pro vlhkost 40%	48
7.3	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného napětí na rozsahu -1 kV pro vlhkost 40%	50
7.4	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného proudu na rozsahu 20 A pro vlhkost 40%	51
7.5	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného proudu na rozsahu -20 A pro vlhkost 40%	52
7.6	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce střídavého napětí na rozsahu 20 V pro vlhkost 40%	54
7.7	Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce střídavého proudu na rozsahu 2A pro vlhkost 40%	55
7.8	Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce odporu pro vlhkost 40%	57
7.9	Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stálého odporu pro vlhkost 40%	58
7.10	Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce kapacita pro vlhkost 40%	60
7.11	Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stálá kapacita pro vlhkost 40%	61
7.12	Body měření funkce stejnosměrného napětí	68
7.13	Body měření funkce stejnosměrného proudu	68
7.14	Body měření funkce střídavého napětí	69
7.15	Body měření funkce střídavého proudu	69
7.16	Body měření funkce odporu	70
7.17	Body měření funkce kapacity	70

7.18	Body měření funkce stálého odporu a stálé kapacity	70
------	--	----

Úvod

Kalibrátory obecně slouží ke kontrole měřících přístrojů, odporových dekád a dalších z hlediska přesnosti, kde se na kalibrátoru generuje velice přesný signál, který se poté porovnává s hodnotou na multimetru. Kalibrátor 9010 je stále ve vývoji, tudíž je důležité provést klimatické zkoušky, aby bylo zjištěno, jak je přístroj rozdílnými teplotami ovlivněn.

Cílem práce je zjistit teplotní a vlhkostní závislost Kalibrátoru 9010 pro jednotlivé funkce při definovaných klimatických podmínkách, které budou nastavovány na základě dohody s firmou Meatest s.r.o. v oblasti referenčních a provozních podmínek, které firma jako výrobce kalibrátoru udává. Tyto podmínky budou nastavovány pomocí klimatické komory, která zajistí stabilitu nastavených klimatických podmínek, během kterých bude provedeno kontrolní měření kalibrátoru pomocí referenčního přístroje FLUKE 8588A. Kontrolní měření bude probíhat automatizovaně a to v rozhraní programu Caliber právě k tomuto účelu určeném. Cílem je zhodnotit vliv teploty a vlhkosti na funkčnost Kalibrátoru 9010.

Při změně teploty se mění také vlastnosti některých elektrických součástek, což znamená, že při používání přístroje za nesprávné teploty či vlhkosti může dojít k nepřesnému generování signálu či simulaci odporu a kapacity.

V této práci bude popsán pojem klimatické zkoušky a některé základní druhy klimatických zkoušek, které jsou svým průběhem podobné zkoušce specifikované v této práci.

Dále budou popsány v této práci využívané funkce a možnosti programu Caliber. Tento program umožňuje vytvořit proceduru, která řídí automatizované měření. Výstupem programu Caliber je protokol s naměřenými hodnotami, což znamená, že není potřeba manuálního čtení a zapisování hodnot z displejů přístrojů. Tento program je rovněž vyvinut firmou Meatest s.r.o.

Dalším bodem bude seznámení s použitými přístroji, hlavně tedy s Kalibrátorem 9010, konkrétně s jeho specifikacemi v oblasti teploty a vlhkosti a jeho vlastnostmi a funkcemi.

V této práci je popsáno vytvoření konkrétní procedury sloužící k ověření správné funkčnosti kalibrátoru 9010.

V laboratořích firmy Meatest s.r.o. proběhlo praktické měření s využitím vytvořené procedury v programu Caliber.

Naměřená data budou v této práci zhodnocena.

1 Klimatické zkoušky

Klimatickými zkouškami se zabývá obor metrologie a zkušebnictví. O problematice klimatických zkoušek hovoří soubor norem ČSN EN 60068 [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], ze kterého je v kapitole 1 čerpáno. Klimatické zkoušky slouží k určení jistoty, že při provozu, skladování či převozu nedojde k poškození zařízení. Zkouškami se testují odolnosti součástí nebo zařízení (obecně vzorků) vůči klimatickým a mechanickým vlivům, které mohou vést k poškození či úplnému zničení vzorku. Mezi klimatické vlivy se řadí teplota, vlhkost a další. Mechanickými vlivy mohou být například vibrace.

Během zkoušek se vzorek postupně vystavuje jednotlivým vlivům a ověřuje se jeho funkčnost po provedení zkoušky či během provádění zkoušky. Během zkoušek vzorku může být testován jeden vliv, jako například teplota, ale existují také kombinované zkoušky, kde se mění více parametrů, jako například teplota a vlhkost.

O metodách testování vzorku hovoří soubor norem ČSN EN 60068-2 [2, 3, 4, 5, 6, 7], kde jsou podrobně popsány jednotlivé zkoušky (chlad, suché teplo a další).

Neexistuje pravidlo, jaké metody testování použít na každý vzorek. ČSN EN 60068-2 nám říká podstatná hlediska, která je potřeba brát v úvahu během volby metod testování a určení stupně přísnosti. Důležité je také pořadí, ve kterém budou zkoušky prováděny.

V případě požadavku na testování vlivu prostředí je vhodné použít zkušební metody dle ČSN EN 60068-2, ačkoli to není povinné. Mohou se však objevit také případy, kdy není k dispozici žádná vhodná zkouška. Důvody pro používání zkušebních metod dle normy ČSN EN 60068-1 [1]:

1. V případě, že se striktně dodržují zkušební metody dané normou ČSN EN 60068-2, je možno dosáhnout opakovatelnosti.
2. Zkušební metody dle ČSN EN 60068-2 se používají pro různorodé vzorky. Nejedná se vždy pouze o elektrotechnické výrobky. Normy jsou proto navrženy tak, aby vyhovovaly různým druhům vzorků.
3. Lze porovnávat vzorky plnicí například stejnou funkci.
4. Zabránění rozšíření nejednotných metod zkoušek.
5. V případě používání stejné zkoušky je možno vztahovat její výsledky k výsledkům minulých zkoušek vzorků, pro které mohou být informace z provozu.

Pro dokumentování zkoušky se vytváří protokol o zkoušce, který by měl obsahovat náležitosti uvedené v jednotlivých normách podle toho, která metoda měření byla použita. Jestliže si zákazník přeje jinak, je možno výstupní protokol upravit dle jeho potřeb. [1]

1.1 Přehled druhů zkoušek

Existují různé druhy zkoušek, které se provádějí na vzorcích. V tabulce 1.1 jsou jednotlivé typy zkoušek vypsány společně s jejich označením. Tyto zkoušky testují odolnost vzorku vůči teplotě a vlhkosti. V této práci nebudou využívány všechny uvedené zkoušky, ale prováděné zkoušky budou vycházet ze zkoušek Chlad, Suché teplo a Vlhké teplo konstantní.

Norma	Vliv prostředí	Označení
ČSN EN 60068-2-1 ed.2	Chlad	A
ČSN EN 60068-2-2	Suché teplo	B
ČSN EN 60068-2-14	Změna teploty	N
ČSN EN 60068-2-30	Vlhké teplo cyklické	Db
ČSN EN 60068-2-38	Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí	Z/AD
ČSN EN 60068-2-78 ed. 2	Vlhké teplo konstantní	Cab

Tab. 1.1: Tabulka druhů zkoušek [1]

1.2 Účinky parametrů prostředí

Vzorek je během klimatické zkoušky vystavován klimatickým podmínkám podle předem připravené specifikace zkoušky. Podle toho, zda jsou specifikace klimatické zkoušky vytvářeny v souladu se specifikacemi klimatických podmínek vzorku uvedeného v manuálu, jsou klimatické zkoušky děleny na destruktivní a nedestruktivní. V případě této práce se jedná o zkoušky nedestruktivní, tedy o zkoušky, které jsou v souladu s klimatickými specifikacemi vzorku uvedenými v manuálu [14].

Právě podle parametrů prostředí se určuje přísnost zkoušky. Tyto stupně přísnosti jsou přesně definovány pro jednotlivé zkoušky v příslušných normách.

1.3 Zkouška chladem

Zkouška chladem je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-1 [2], v této kapitole je z ní citováno. Zkouška chladem je označována písmenem A. Slouží pro určení vlivu nízkých teplot na vzorek. Rozlišují se tři základní typy vzorků:

- Zkouška chladem vzorků neuvolňujících teplo s pozvolnou změnou teploty, označená jako zkouška Ab.
- Zkouška chladem pro vzorky uvolňující teplo s pozvolnou změnou teploty, označená jako zkouška Ad.

- Zkouška chladem pro vzorky uvolňující teplo s pozvolnou změnou teploty a s napájením po celou dobu zkoušky, označená jako zkouška Ae.

1.3.1 Stupně přísnosti

Stupeň přísnosti se určuje podle teploty a doby trvání zkoušky. V normě ČSN 60068-2-1 jsou uvedeny teploty od -65°C do $+5^{\circ}\text{C}$ s dobou trvání od 2h do 96h. [2]

1.3.2 Průběh zkoušky chladem

V některých případech může být před měřením požadována počáteční aklimatizace vzorku, což znamená, že se vzorek vloží do klimatické komory, která je nastavena na teplotu laboratoře, na dobu určenou ve specifikaci. Před samotným měřením je nutné znát počáteční stav vzorku, jeho funkčnost a zda není vzorek před zkouškou nějak mechanicky poškozen. Ve specifikaci může být požadováno kontrolování funkčnosti i během zkoušky. Jestliže tomu tak je, musí ve specifikaci být uveden čas, po kterém má být měření zahájeno. Po provedení zkoušky chladem je potřeba vzorek aklimatizovat tak, aby došlo k rovnováze teplot mezi okolím a vzorkem. Po zkoušce je potřeba provést kontrolní měření a vizuální revizi vzorku. Podrobnější informace o průběhu této zkoušky je možno nalézt v normě ČSN EN 60068-2-1 a ČSN EN 60068-3-1. [2, 8]

1.4 Zkouška suchým teplem

Zkouška suchým teplem je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-2 [3] a je označována písmenem B. Slouží pro určení vlivů vysokých teplot na vzorek. Stejně jako u zkoušky chladem, rozlišují se zde tři základní typy vzorků:

- Zkouška suchým teplem vzorků neuvolňujících teplo s pozvolnou změnou teploty, označená jako zkouška Bb.
- Zkouška suchým teplem pro vzorky uvolňující teplo s pozvolnou změnou teploty, označená jako zkouška Bd.
- Zkouška suchým teplem pro vzorky uvolňující teplo s pozvolnou změnou teploty a s napájením po celou dobu zkoušky, označená jako zkouška Be.

1.4.1 Stupně přísnosti

Stupeň přísnosti se určuje podle teploty a doby vystavení. V normě ČSN EN 60068-2-2 jsou uvedeny dané teploty v intervalu od 30°C do 1000°C s danými dobami trvání v intervalu od 2h do 1000h. [3]

1.4.2 Průběh zkoušky suchým teplem

Průběh zkoušky chladem a suchým teplem se od sebe téměř neliší. V normě ČSN EN 60068-2-2 je jen navíc definováno, že absolutní vlhkost nesmí být vyšší než 20 g vodní páry na krychlový metr, což přibližně odpovídá 50 % vlhkosti. Podrobnější informace o průběhu této zkoušky je možno nalézt v normě ČSN EN 60068-2-2 a ČSN EN 60068-3-1. [3, 8]

1.5 Zkouška změnou teploty

Zkouška změnou teploty je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-14 [4] a je určena pro zjištění vlivu změn teploty na vzorek. Základními parametry této zkoušky jsou:

- teplota laboratoře
- vysoká teplota
- nízká teplota
- doba expozice
- rychlost změny teploty
- počet zkušebních cyklů

Zkouška změnou teploty se rozlišuje na tři různé druhy Na, Nb a Nc podle způsobu změny teploty v čase:

- Zkouška Na: Rychlá změna teploty s předepsanou dobou přemístění.
- Zkouška Nb: Změna teploty se stanovenou rychlostí změny.
- Zkouška Nc: Rychlá změna teploty, metoda se dvěma kapalinovými lázněmi.

Za jeden cyklus zkoušky se považuje přechod z teploty laboratoře na vysokou teplotu, z vysoké teploty na nízkou teplotu a zpět na teplotu laboratoře. Jednotlivé průběhy změn teploty jsou popsány v normě ČSN EN 60068-2-14 [4].

1.5.1 Stupně přísnosti

Stupeň přísnosti se určuje podle vysoké a nízké teploty, doby vystavení těmto teplotám a podle počtu cyklů [4].

1.6 Vlhké teplo cyklické

Zkouška vlhkým cyklickým teplem je označována písmeny Db. Za pomoci této zkoušky je možno zjistit, zda vzorek dokáže odolat vlivům vysoké vlhkosti kombinované s cyklickými změnami teplot při provozu, skladování či přepravě. Za těchto

podmínek se na povrchu vzorku obvykle vyskytne kondenzace vlhkosti. Zkouška vlhkým cyklickým teplem je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-30.[5]

1.7 Vlhké teplo konstantní

Zkouška konstantním vlhkým teplem je označována písmeny Cab. Za pomoci této zkoušky můžeme zjistit, zda vzorek dokáže odolat vlivům vysoké vlhkosti při provozu, skladování či přepravě. Zkouška vlhkým konstantním teplem je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-78 [7].

1.8 Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí

Složená zkouška teplotou a vlhkostí je označována písmeny Z/AD. Za pomoci této zkoušky je možno zjistit, zda vzorek dokáže odolat vlivům vysoké teploty, vlhkosti a chladu při provozu, skladování či přepravě. Norma ČSN EN 60068-2-38 doporučuje omezit použití postupu této zkoušky pouze na součástky. Pro větší zařízení se doporučuje použít zkouška vlhkým cyklickým teplem. Zkouška vlhkým cyklickým teplem je podrobně popsána v normě ČSN EN 60068-2-38 [6].

2 Popis programu Caliber

Program Caliber společnosti Meatest, jehož zkušební verze je volně dostupná na webových stránkách této společnosti [13], slouží k automatizovaným kalibracím, tedy k srovnání kontrolovaného přístroje a referenčního přístroje (etalonu), který má větší přesnost dané hodnoty (menší nejistotu). Aby tento program mohl být používán, je zapotřebí mít k dispozici testovaný přístroj, kalibrátor představující etalon a počítač. Výstupem programu Caliber je fyzická kalibrace a protokol o provedení této kalibrace obsahující tabulky naměřených hodnot a vyhodnocení dat. Ukázka protokolu je na obrázku 2.1. [9].

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota
VDC-2W	200 mV	20.0 mV	20.0 mV	-0 uV	0	200 uV	62 uV ok
VDC-2W	200 mV	180.0 mV	180.6 mV	620 uV	62	1003 uV	71 uV ok
VDC-2W	200 mV	-180.0 mV	-180.7 mV	-690 uV	-69	1003 uV	69 uV ok
VDC-2W	2 V	0.200 V	0.200 V	-0.00 mV	0	2.00 mV	0.58 mV ok
VDC-2W	2 V	1.800 V	1.807 V	7.00 mV	70	10.04 mV	0.58 mV ok
VDC-2W	2 V	-1.800 V	-1.807 V	-6.80 mV	-68	10.03 mV	0.64 mV ok
VDC-2W	20 V	2.00 V	2.00 V	0.0 mV	0	20.0 mV	5.8 mV ok
VDC-2W	20 V	10.00 V	10.04 V	40.0 mV	66	60.2 mV	5.8 mV ok
VDC-2W	20 V	18.00 V	18.07 V	70.0 mV	70	100.4 mV	5.8 mV ok
VDC-2W	20 V	-2.00 V	-2.00 V	0.0 mV	0	20.0 mV	5.8 mV ok
VDC-2W	20 V	-18.00 V	-18.07 V	-71.0 mV	-71	100.4 mV	6.1 mV ok
VDC-2W	200 V	20.0 V	20.1 V	100 mV	50	201 mV	58 mV ok
VDC-2W	200 V	180.0 V	180.8 V	830 mV	83	1004 mV	65 mV ok

Obr. 2.1: Ukázka protokolu vytvořeného programem Caliber [9]

Popis záhlaví tabulky z obrázku 2.1:

- Funkce - testovaná funkce přístroje
- Rozsah - rozsah testovaného přístroje
- Etalon - kontrolní bod (etalonová hodnota)
- UUT - naměřená hodnota testovaným přístrojem
- Odchylka - chyba testovaného přístroje
- %spe - procento čerpání specifikace
- Povoleno - mezní povolená chyba
- Nejistota - nejistota měření

V posledním sloupci tabulky je uvedena informace o tom, zda zařízení vyhovělo specifikacím či nikoli.

Přístroje může uživatel ovládat ručně nebo automatizovaně. V případě používání automatizovaného režimu může být k řízení (nastavování a čtení hodnot z přístroje) použita například sběrnice RS232, USB nebo GPIB, popřípadě libovolná další, která používá průmyslový standard VISA [9].

2.1 Součásti programu Caliber

Program Caliber je tvořen čtyřmi základními moduly dále podrobněji popsány v kapitolách 2.3, 2.4, 2.5 a 2.6:

- Procedury
- Karty přístrojů
- Uživatelské funkce
- Pravidla generování

Základní funkcí programu je automatizované řízení kalibrace měřidel, které se řídí kalibračním postupem neboli kalibrační procedurou. Základní modul Procedury je určen pro práci s kalibračními procedurami. Právě pomocí modulu Procedury je možno vytvářet a upravovat kalibrační procedury a provádět kalibrace. V nejjednodušším případě kalibrační proceduru tvoří seznam vybraných funkcí, přístrojů, rozsahů a bodů kalibrovaného přístroje.

V programu Caliber je přístroj definován pomocí karty přístroje. V kartě přístroje je obsažen veškerý popis přístroje, zejména tedy definice rozsahů, specifikace, způsob ovládání a dostupné funkce.

Pro úpravu stávajících a tvorbu nových funkcí slouží modul Uživatelské funkce. Funkce představuje vlastnosti přístroje jako například funkce V-DC (měření stejnosměrného napětí). Tyto funkce jsou následně používány v celém systému Caliber.

K vytváření pravidel slouží modul Pravidla generování, který se využívá při automatickém vytváření procedur.

Jednoduše by se dalo říci, že modul karty přístrojů nám určuje vlastnosti objektů, které jsou používány během kalibrace a kalibrační procedury, která definuje vztahy mezi použitými objekty. Kalibrační procedura nám říká, které přístroje se budou podílet na kalibraci, jaká bude jejich funkce a v jakých rozsazích bude kalibrace prováděna.

Program Caliber lze použít samostatně, ale také jako modul v databázovém prostředí WinQbase. Jestliže je program Caliber používán samostatně, je výstupem jen kalibrační protokol. V případě, že je používám s databázovým prostředím WinQbase, jsou výsledky přenášeny do databáze tohoto programu a lze s nimi dále pracovat s využitím vlastností prostředí. Popis programu vychází z uživatelské příručky programu Caliber [9].

2.2 Sestavení kalibrační procedury

Pro vytvoření kalibrační procedury je zapotřebí mít předmět kalibrace, tedy přístroj, který bude kalibrován, a etalon (kalibrátor), kterým bude tato kalibrace kontrolována. V jednom kalibračním bodě je počet všech používaných přístrojů omezen

na dvacet. Není omezen počet přístrojů využívaný během celé kalibrační procedury, proto každý bod může využívat jiných přístrojů. Účelem programu je kalibrace jednoho zařízení, proto je omezený na jediný testovaný přístroj, který je stejný po celou dobu kalibrace.

Měřicí úloha může být sestavena za pomoci pěti základních druhů přístrojů:

1. UUT (Unit Under Test) - jedná se o přístroj, který je předmětem kalibrace (kalibrovaný přístroj). Není důležité, zda se jedná o přístroj generující veličiny nebo měřící veličiny. Kalibrovaným přístrojem může být například multimetr, odporová dekáda a další. Při dodržení určitých pravidel může být jako UUT použit také převodník. UUT je ve schématech programu vždy označován modrou barvou, toto je zobrazeno na obrázku 2.2 dále v textu.
2. Etalon - přístroj, který nám stanovuje správnou hodnotu veličiny. UUT v programu navazuje na etalon. Tento přístroj lze použít jako zdroj signálu (kalibrátor) nebo měřidlo (multimetr). Etalon je ve schématech programu vždy označován červenou barvou.
3. Zdroj - zdroj signálu. Je přítomen v každé úloze. Může být na pozici UUT (např. kalibrace odporové dekády) nebo etalonu (kalibrátor).
4. Převodník - slouží k převodu měřeného signálu. Zprostředkovává převádění veličin (proudový bočník), případně převod hodnoty (transformátory). Převodník nelze řadit mezi UUT, to však lze obejít vytvořením dalšího rozsahu kalibrovaného měřidla. Převodník, který je připojený k etalonu, je ve schématech programu označován červenou barvou.
5. Přepínač - používá se jako automatizovaný přepínač svorek. Na výsledek kalibrace nemá žádný vliv.

Pro každý přístroj, který je při kalibraci použit, musí mít program dostupnou kartu přístroje. Při tvorbě kalibrační úlohy je nutné určit UUT, etalon a zdroj. Převodník není povinné používat. U jednotlivých přístrojů je možno nastavit způsob ovládání na manuální nebo automatizované po sběrnici [9].

2.3 Modul procedury

Na obrázku 2.2 je zobrazeno okno modulu procedury. Toto okno je rozděleno do dalších částí, které budou popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 2.2: Okno modulu procedury [9]

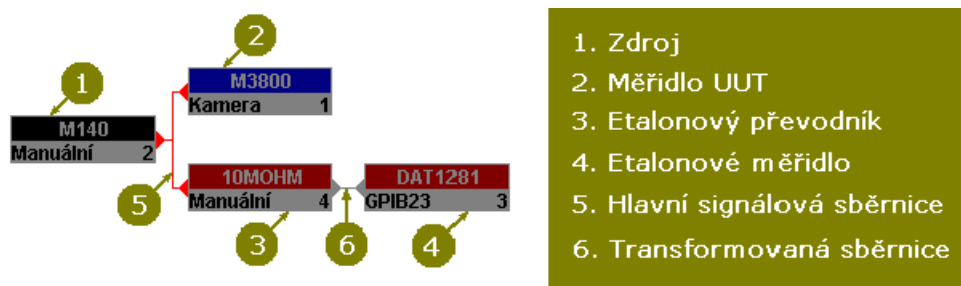
2.3.1 Stavové okno

Stavové okno nám zobrazuje kontrolované funkce, rozsahy nebo body kalibrovaného přístroje. Ve stavovém okně je možno zobrazit různé stupně hierarchie, kterými jsou Procedura -> Funkce -> Rozsah -> Hodnota. V hierarchii je nejvýše postavená Procedura. Přechodem mezi jednotlivými složkami hierarchie je možno se postupně dostat až k jednotlivým kontrolovaným bodům. V jednotlivých stupních hierarchie je možné upravovat příslušné nastavení měření. Aktuální pozici v hierarchii je možno zjistit podle nadpisu stavového okna.

2.3.2 Okno schémat přístrojů

V okně schémat přístrojů jsou vidět přístroje použité pro kalibraci. Toto okno slouží k úpravě schémat kalibrační procedury. Všechny přístroje spolu musí být propojeny propojovací linkou. Existují dva druhy propojovacích linek a to šedé nebo oranžové. Oranžová sběrnice značí, že se jedná o hlavní signálovou sběrnici. Šedá sběrnice značí, že se jedná o transformovanou sběrnici, která vzniká průchodem hlavní sběrnice přes převodník. Různé druhy sběrnic jsou zobrazeny na obrázku 2.3.

Přístroje se v programu zobrazují jako obdélník. Každý přístroj má ve schématu uveden název, typ komunikační sběrnice, index přístroje, způsob ovládání a případně z jaké sběrnice se hodnota načítá do přístroje. Na přístroji je zobrazen buď



Obr. 2.3: Popsané schema procedury [9]

jeden nebo dva zobáčky podle toho, o jaký přístroj se jedná. Například v případě převodníku budou zobáčky dva, na každé straně bloku přístroje jeden. Popsaný blok reprezentující přístroj je zobrazen na obrázku 2.4.



Obr. 2.4: Popsaný blok přístroje [9]

2.3.3 Okno kamery

Při čtení dat pomocí kamery se nám po rozkliknutí přístroje zobrazí běžící video z připojené kamery. Čtení za pomoci kamery se používá v případě, kdy není možné propojení pomocí datových sběrnic.

2.3.4 Okno odměry

V tomto okně se zobrazují jednotlivé naměřené hodnoty z použitých přístrojů.

2.3.5 Okno protokol

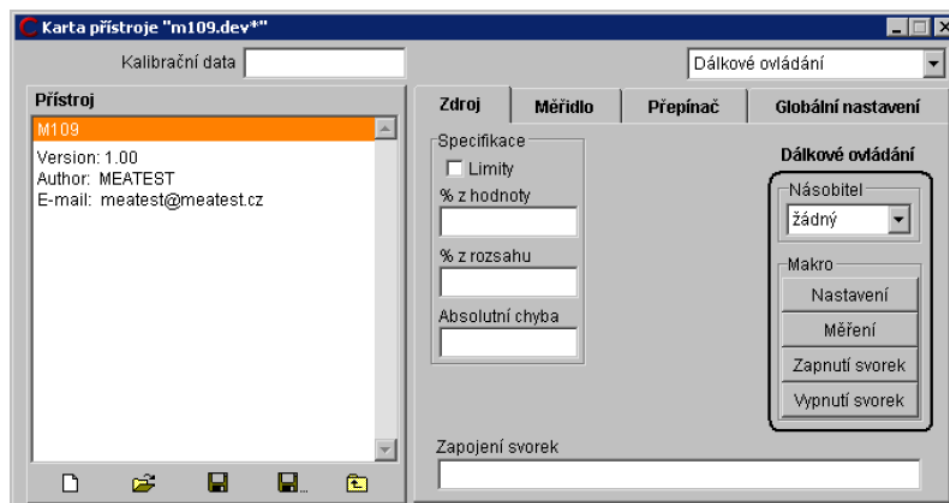
Okno protokol zobrazuje všechny naměřené hodnoty a kontrolované body. Protokol se postupně vyplňuje během kalibrace.

2.3.6 Informační řádek

Informační řádek oznamuje konkrétní operaci průběhu měření právě v tu chvíli probíhající.

2.4 Modul Karta přístroje

Na obrázku 2.5 můžete vidět okno modulu karty přístroje. Tento modul slouží k vytváření nových karet přístroje. Program Caliber je vybaven spoustou již existujících karet přístrojů. Pro vytvoření nové karty přístroje je potřeba mít k dispozici technické parametry přístroje. V případě ovládání kalibrace pomocí počítače je nutný popis příkazů k dálkovému ovládání. Již existující karty přístroje se poté do kalibračního měření přidávají v modulu procedury. V záložkách v horní části se určuje, zda se jedná o zdroj, měřidlo či přepínač. V záložce globální nastavení se definují společné vlastnosti.



Obr. 2.5: Modul karty přístroje [9]

2.4.1 Kalibrační data

Jedná se o panel v levé horní části okna. Zde se zadává název karty přístroje, z pravidla se jedná o název a typ přístroje. Do souboru s tímto názvem se poté ukládají etalonové hodnoty určené výrobcem přístroje.

2.4.2 Stavové okno

Stavové okno se nachází pod panelem Kalibrační data. Stavové okno nám zobrazuje hierarchii karty přístroje podobně jako v modulu procedury. Jednotlivé stupně hi-

erarchie jsou Přístroj -> Funkce -> Rozsahy -> Parametry. Na úrovni Přístroj je uveden název přístroje a informace o autorovi karty přístroje. Na pozici Funkce se dají přidat a odebrat jednotlivé funkce dle potřeby. Na úrovni Rozsahy je možno přidat rozsahy k jednotlivým funkcím. Na pozici Parametry se nastavuje parametr funkce, avšak jen za předpokladu, že funkce nějaký parametr obsahuje. Například funkce VAC-2W, která slouží pro dvou vodičové měření střídavého napětí, má jako parametr kmitočet.

2.4.3 Dálkové ovládání

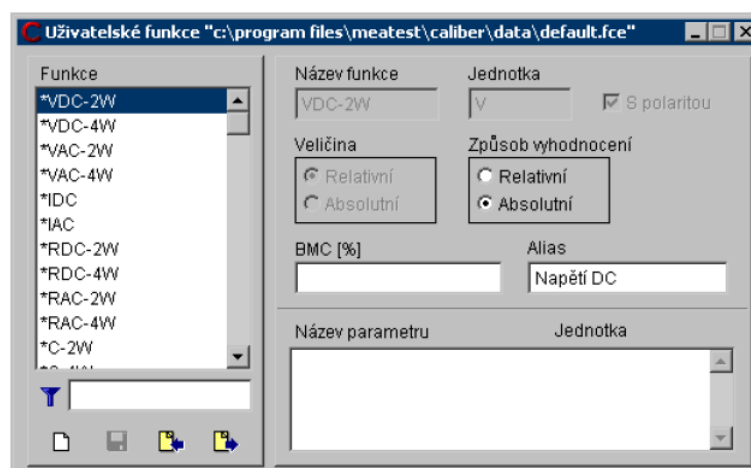
Dálkové ovládání slouží pro nastavení komunikace přístroje s počítačem. Zde se zvolí druh sběrnice například GPIB, VISA nebo SCPI.

2.4.4 Specifikace

V panelu specifikace se manuálně zadávají chyby uvedené v příručce konkrétního přístroje pro jednotlivé funkce a rozsahy.

2.5 Modul Uživatelské funkce

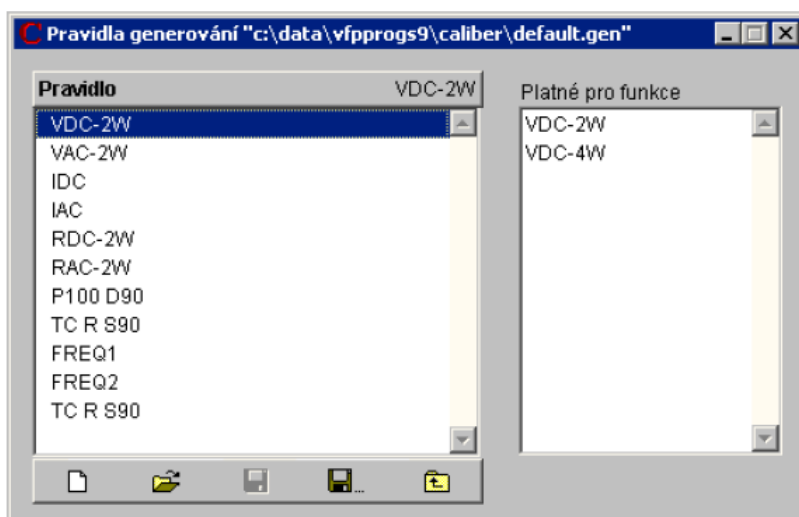
V programu Caliber je k dispozici sada základních funkcí, například pro dvou vodičové měření stejnosměrného proudu (VDC-2W) nebo stejnosměrného proudu (IDC). Jestliže nám tyto funkce k testování nestačí, je možno si vytvořit vlastní funkci právě pomocí modulu Uživatelské funkce. Okno modulu Uživatelské funkce je zobrazeno na obrázku 2.6. Modul je podrobně popsán v příručce programu CALIBER [9].



Obr. 2.6: Modul Uživatelské funkce [9]

2.6 Modul Pravidla generování

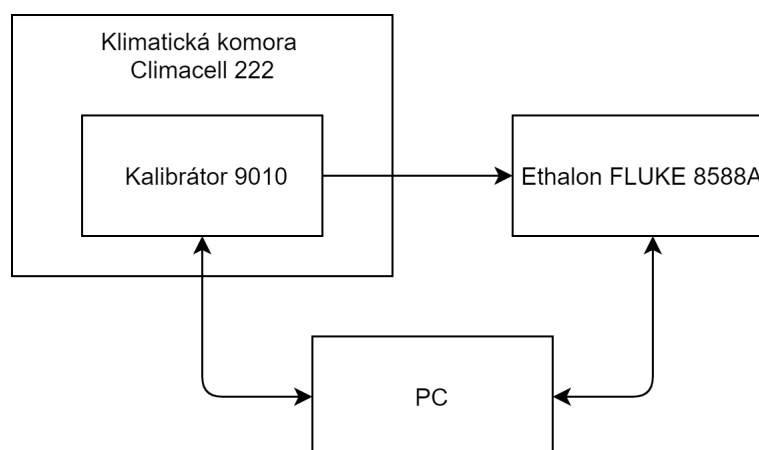
Na obrázku 2.7 je zobrazeno okno modulu Pravidla generování. Tento modul slouží k vytváření a editaci pravidel, kterými se poté řídí modul Procedura při automatickém generování kontrolních bodů. Program Caliber je vybaven pravidly generování bodů pro některé funkce, jako například generování stejnosměrného proudu, které může být použito při vytváření procedury kalibrace.



Obr. 2.7: Modul Pravidla generování [9]

3 Použité přístroje

Tato kapitola se zabývá jednotlivými přístroji použitými ke klimatickým zkouškám. Na obrázku 3.1 je zobrazeno blokové schéma rozložení přístrojů při měření, kde je kalibrátor 9010 umístěn uvnitř klimatické komory. Kalibrátor a etalon jsou ovládány pomocí programu Caliber skrze počítač. Klimatická komora je řízena manuálně. Šipka mezi kalibrátorem a etalonem značí propojení svorek přístrojů.



Obr. 3.1: Blokové schéma přístrojů [9]

3.1 Kalibrátor 9010



Obr. 3.2: Kalibrátor 9010 [10]

Kalibrátor 9010 je přístroj navržený a vyráběný firmou Meatest s.r.o. Kalibrátor 9010 se používá jako univerzální etalonový zdroj pro uskutečnění laboratorních kalibrací multimetrů, ampérmetrů, wattmetrů, odporových dekád a spousty dalších přístrojů. Vysoká zatížitelnost napěťových výstupů, až do 50 mA, umožňuje kalibraci analogových měřicích přístrojů s vysokou spotřebou. Díky pevně instalovaným harmonickým tvarovým signálům je možno testovat údaje měřidel signálem s nulovým činitelem zkreslení. Díky vestavěnému multimetru dokáže Kalibrátor 9010

měřit napětí, proud, odpor i frekvenci z jiných zdrojů s přesností 0,01%. Multimetr dovoluje také provádět kontroly převodníků a regulátorů bez externích měřících přístrojů. Popis ovládání přístroje je možno nalézt v uživatelské příručce Kalibrátoru 9010 [10].

3.1.1 Základní funkce generované Kalibrátorem 9010

Kalibrátor 9010 dokáže generovat tyto základní veličiny:

- Stejnosměrné napětí
- Střídavé napětí
- Stejnosměrný proud
- Střídavý proud
- Odpor
- Kapacita
- Stálá kapacita
- Stálý odpor

Všechny hodnoty absolutní nejistoty pro uvedené generované veličiny jsou znamenány v následujících tabulkách (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8), kde jsou definovány se spolehlivostí 95 %, což odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$. Hodnoty nejistot uvedeny v tabulkách vycházejí ze specifikace přístroje[10]. Do nejistot se započítává dlouhodobá stabilita po dobu 12 měsíců, teplotní koeficient, linearita, nestabilita sítě a zahrnutí továrních a národních kalibračních standardů. Doporučený interval recalibrace je 1 rok. Stabilizace teploty a vlhkosti s třiceti minutovým zahřátí v referenčních podmínkách jsou potřebné k dosažení následujících specifikací. Referenční podmínky kalibrátoru jsou 22 až 24 °C s maximální vlhkostí 70 %. Provozní podmínky jsou 13 až 33 °C s maximální vlhkostí 70 % a s maximální nadmořskou výškou 3 km. Skladovací podmínkou je teplota v rozsahu -10 až 55 °C [10].

3.1.2 Stejnosměrné napětí

Rozsah stejnosměrného napětí je od 0 do 1050 V. Nastavitelné rozsahy jsou 20 mV, 200 mV, 2 V, 20 V, 100 V, 280 V, 1050 V. Veškeré absolutní nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v následující tabulce. [10]

Range	90 days	1 year
0.00000 – 20.00000 mV	180 + 20 μ V / 180 + 3 μ V ¹	220 + 20 μ V / 220 + 3 μ V ¹
20.00001 – 200.00000 mV	40 + 20 μ V / 40 + 3 μ V ¹	45 + 20 μ V / 45 + 3 μ V ¹
0.2000001 – 2.0000000 V	28 + 10 μ V	35 + 10 μ V
2.000001 – 20.000000 V	28 + 40 μ V	35 + 40 μ V
20.00001 – 100.00000 V	35 + 250 μ V	42 + 250 μ V
100.00001 – 280.00000 V	35 + 500 μ V	42 + 500 μ V
280.0001 – 1050.000 V	42 + 7 mV	50 + 7 mV

1. In passive output mode.

Tab. 3.1: Absolutní nejistoty měření při generování stejnosměrného napětí [10]

3.1.3 Střídavé napětí

Rozsah efektivní hodnoty střídavého napětí je od 1 mV do 1050 V. Nastavitelné rozsahy jsou 20 mV, 200mV, 2 V, 20 V, 100 V, 280 V a 1050 V. Rozsah kmitočtu je od 15 Hz do 10 000 kHz. Rozsahy kmitočtu se mění v závislosti na nastaveném rozsahu napětí. Veškeré absolutní nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v následující tabulce. [10]

Range	15 Hz – 10 kHz		10 kHz – 30 kHz		30 kHz – 100 kHz		100 kHz – 300 kHz	
	90 days	1 year	90 days	1 year	90 days	1 year	90 days	1 year
1.0000 – 20.0000 mV	1600 + 30 μ V	2000 + 30 μ V	1600 + 40 μ V	2000 + 40 μ V	9500 + 100 μ V	10000 + 100 μ V	45000 + 900 μ V	50000 + 900 μ V
20.0000 – 200.0000 mV	850 + 80 μ V	1000 + 80 μ V	1200 + 120 μ V	1500 + 120 μ V	2800 + 300 μ V	3000 + 300 μ V	4600 + 1 mV	5000 + 1 mV
0.200000 – 2.000000 V	210 + 120 μ V	250 + 120 μ V	420 + 300 μ V	500 + 300 μ V	1800 + 1 mV	2000 + 1 mV	4600 + 1 mV	5000 + 1 mV
2.00000 – 20.00000 V	210 + 700 μ V	250 + 700 μ V	420 + 1.5 mV	500 + 1.5 mV	1800 + 10 mV	2000 + 10 mV	N/A	N/A
20.00001 – 100.00000 V	250 + 5 mV	270 + 5 mV	420 + 15 mV	500 + 15 mV	N/A	N/A	N/A	N/A
100.00001 – 280.00000 V ²	260 + 12 mV	300 + 12 mV	420 + 50 mV	500 + 50 mV	N/A	N/A	N/A	N/A
280.000 – 1050.000 V ³	380 + 85 mV	420 + 85 mV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

2. Frequency is limited to 15 – 10000 Hz above 200 V.

3. Frequency is limited to 20 – 1000 Hz.

Tab. 3.2: Absolutní nejistoty měření při generování střídavého napětí [10]

3.1.4 Stejnosměrný proud

Rozsah stejnosměrného proudu je od 0 A do 20 A. Nastavitelné rozsahy jsou 200 μ A, 2 mA, 20 mA, 200 mA, 2 A a 20 A. Veškeré absolutní nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v následující tabulce. [10]

Range	90 days	1 year
0.0000 – 200.0000 μ A	500 + 20 nA	500 + 20 nA
0.200000 – 2.000000 mA	280 + 100 nA	280 + 100 nA
2.000000 – 20.000000 mA	150 + 600 nA	150 + 600 nA
20.0000 – 200.0000 mA	150 + 6 μ A	150 + 6 μ A
0.200000 – 2.000000 A	200 + 130 μ A	200 + 130 μ A
2.000000 – 20.000000 A	250 + 2 mA	250 + 2 mA

Tab. 3.3: Absolutní nejistoty měření při generování stejnosměrného proudu [10]

3.1.5 Střídavý proud

Rozsah stejnosměrného proudu je od 0 A do 20 A. Nastavitelné rozsahy jsou 200 μ A, 2 mA, 20 mA, 200 mA, 2 A a 20 A. Rozsah kmitočtu je od 15 Hz do 10 000 kHz. Rozsahy kmitočtu se mění v závislosti na nastaveném rozsahu proudu. Veškeré absolutní nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v následující tabulce. [10]

Range	15 Hz – 1 kHz		1 kHz – 5 kHz		5 kHz – 10 kHz	
	90 days	1 year	90 days	1 year	90 days	1 year
10.0000 – 200.0000 μ A	1300 + 150 nA	1500 + 150 nA	2600 + 200 nA	3000 + 200 nA	4600 + 500 nA	5000 + 500 nA
0.200000 – 2.000000 mA	800 + 300 nA	850 + 300 nA	1800 + 1 μ A	2000 + 1 μ A	4600 + 1.4 μ A	5000 + 1.4 μ A
2.000000 – 20.000000 mA	450 + 2 μ A	500 + 2 μ A	1800 + 10 μ A	2000 + 10 μ A	4600 + 14 μ A	5000 + 14 μ A
20.0000 – 200.0000 mA	450 + 20 μ A	500 + 20 μ A	1800 + 100 μ A	2000 + 100 μ A	4600 + 140 μ A	5000 + 140 μ A
0.200000 – 2.000000 A	620 + 200 μ A	700 + 200 μ A	1800 + 500 μ A	2000 + 500 μ A	N/A	N/A
2.000000 – 20.000000 A	850 + 6 mA	1000 + 6 mA	N/A	N/A	N/A	N/A

Tab. 3.4: Absolutní nejistoty měření při generování střídavého proudu [10]

3.1.6 Odpor

Rozsah simulace odporu je od 0 Ω do 1 M Ω pro čtyřvodičové zapojení a od 0 Ω do 1 G Ω pro dvouvodičové zapojení. Veškeré nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v tabulce 3.5. [10]

3.1.7 Kapacita

Rozsah simulace kapacity je od 0.8 nF do 1 mF pro dvouvodičové zapojení. Veškeré nejistoty měření měřené po dobu 90 dní a jednoho roku jsou zobrazeny v tabulce 3.6. [10]

Nominal range ⁷	4W uncertainty [ppm]		2W uncertainty [ppm]		Applicable test current
	90 days	1 year	90 days	1 year	
0.0000 – 10.0000 Ω	250 + 1 m Ω	300 + 1 m Ω	250 + 131 m Ω	300 + 131 m Ω	0.4 – 100 mA
10.0001 – 33.0000 Ω	210 + 1 m Ω	250 + 1 m Ω	210 + 131 m Ω	250 + 131 m Ω	0.4 – 100 mA
33.0001 – 100.0000 Ω	120 + 1 m Ω	150 + 1 m Ω	120 + 131 m Ω	150 + 131 m Ω	0.4 – 100 mA
100.0001 – 200.0000 Ω	85 + 3 m Ω	100 + 3 m Ω	85 + 133 m Ω	100 + 133 m Ω	0.4 – 30 mA
200.001 – 1000.000 Ω	85 + 3 m Ω	100 + 3 m Ω	85 + 133 m Ω	100 + 133 m Ω	0.4 – 10 mA
1000.001 – 2000.000 Ω	85 + 30 m Ω	100 + 30 m Ω	85 + 160 m Ω	100 + 160 m Ω	0.1 – 6 mA
2.00001 – 10.00000 k Ω	85 + 30 m Ω	100 + 30 m Ω	85 + 160 m Ω	100 + 160 m Ω	20 – 2000 μ A
10.00001 – 20.00000 k Ω	85 + 300 m Ω	100 + 300 m Ω	85 + 430 m Ω	100 + 430 m Ω	4 – 1000 μ A
20.0001 – 100.0000 k Ω	85 + 300 m Ω	100 + 300 m Ω	85 + 430 m Ω	100 + 430 m Ω	1 – 200 μ A
100.0001 – 200.0000 k Ω	85 + 3 Ω	100 + 3 Ω	85 + 3 Ω	100 + 3 Ω	1 – 100 μ A
200.001 – 330.000 k Ω	85 + 3 Ω	100 + 3 Ω	85 + 3 Ω	100 + 3 Ω	1 – 60 μ A
330.001 – 1000.000 k Ω	120 + 3 Ω	150 + 3 Ω	120 + 3 Ω	150 + 3 Ω	0.2 – 20 μ A
1000.001 – 2000.000 k Ω			120 + 30 Ω	150 + 30 Ω	0.04 – 10 μ A
2.00001 – 3.30000 M Ω			120 + 30 Ω	150 + 30 Ω	0.04 – 6 μ A
3.30001 – 10.00000 M Ω			160 + 30 Ω	200 + 30 Ω	10 – 2000 nA
10.00001 – 20.00000 M Ω			850 + 300 Ω	1000 + 300 Ω	10 – 1000 nA
20.0001 – 33.0000 M Ω			850 + 300 Ω	1000 + 300 Ω	10 – 600 nA
33.0001 – 100.0000 M Ω			1600 + 300 Ω	2000 + 300 Ω	10 – 180 nA
100.0001 – 200.0000 M Ω			2500 + 300 Ω	3000 + 300 Ω	10 – 100 nA
200.001 – 330.000 M Ω			2500 + 300 Ω	3000 + 300 Ω	10 – 60 nA
330.001 – 1000.000 M Ω			6200 + 1 k Ω	7000 + 1 k Ω	4 – 20 nA

7. Range boundaries are based on calibration values of fixed resistance mode standards and as such may deviate from nominal values by up to 5%.

Tab. 3.5: Nejistoty měření při simulování odporu [10]

Range	Uncertainty		Max. test frequency	Maximum load ⁸
	90 days	1 year		
0.800000 – 2.000000 nF	0.5 % + 15 pF	0.5 % + 15 pF	1000 Hz	2 – 5 V _{rms}
2.00001 – 3.30000 nF	0.5 % + 15 pF	0.5 % + 15 pF	1000 Hz	2 – 5 V _{rms}
3.30001 – 20.00000 nF	0.45 %	0.5 %	1000 Hz	2 – 5 V _{rms}
20.0001 – 33.0000 nF	0.45 %	0.5 %	1000 Hz	2 – 5 V _{rms}
33.0001 – 100.0000 nF	0.45 %	0.5 %	500 Hz	2 – 5 V _{rms}
100.0001 – 200.0000 nF	0.45 %	0.5 %	300 Hz	2 – 5 V _{rms}
0.200001 – 2.000000 μ F	0.45 %	0.5 %	300 Hz	2 – 5 V _{rms}
2.00001 – 3.30000 μ F	0.45 %	0.5 %	300 Hz	2 – 5 V _{rms}
3.30001 – 10.00000 μ F	0.45 %	0.5 %	300 Hz	100 mA _{rms}
10.00001 – 20.00000 μ F	1.3 %	1.5 %	300 Hz	100 mA _{rms}
20.0001 – 33.0000 μ F	1.3 %	1.5 %	300 Hz	100 mA _{rms}
33.0001 – 100.0000 μ F	2.2 %	2.5 %	300 Hz	100 mA _{rms}
100.0001 – 200.0000 μ F	2.5 %	3 %	70 Hz	100 mA _{rms}
0.200001 – 1.000000 mF	2.5 %	3 %	70 Hz	100 mA _{rms}
1.000001 – 2.000000 mF	4.5 %	5 %	20 Hz	100 mA _{rms}
2.00001 – 10.00000 mF	4.5 %	5 %	20 Hz	100 mA _{rms}
10.00001 – 20.00000 mF	4.5 %	5 %	5 Hz	100 mA _{rms}
20.0001 – 120.0000 mF	4.5 %	5 %	5 Hz	100 mA _{rms}

8. Voltage limit depends on test frequency, current should never exceed 100 mA_{rms}.

Tab. 3.6: Nejistoty měření při simulování kapacity [10]

3.1.8 Stálý odpor

Rozsah simulace odporu je od $0\ \Omega$ do $100\text{k}\ \Omega$ pro čtyřvodičové zapojení a od $0\ \Omega$ do $1\text{G}\ \Omega$ pro dvouvodičové zapojení. Hodnoty nejistot lze nalézt v tabulce 3.7. Jedná se o pevné součástky umístěné v přístroji, které nabývají nominálních hodnot uvedených v tabulce.

Nominal value	Calibration value uncertainty		Tolerance from nominal		Maximum load
	4W	2W	4W	2W	
$0.0000\ \Omega$	$< 0.2\ \text{m}\Omega$	$0.2\ \Omega$	$\pm 10\ \text{m}\Omega$	$\pm 1\ \Omega$	$500\ \text{mA}_{\text{pk}}$
$1.0000\ \Omega$	200 ppm	5 %	$\pm 2\ %$	$\pm 1\ \Omega$	$400\ \text{mA}_{\text{pk}}$
$10.0000\ \Omega$	20 ppm	0.5 %	$\pm 2\ %$	$\pm 1\ \Omega$	$300\ \text{mA}_{\text{pk}}$
$100.0000\ \Omega$	15 ppm	150 ppm	$\pm 2\ %$	$\pm 2\ %$	$100\ \text{mA}_{\text{pk}}$
$1000.000\ \Omega$	15 ppm	15 ppm	$\pm 2\ %$	$\pm 2\ %$	$20\ \text{V}_{\text{pk}}$
$10.00000\ \text{k}\Omega$	15 ppm	15 ppm	$\pm 2\ %$	$\pm 2\ %$	$20\ \text{V}_{\text{pk}}$
$100.0000\ \text{k}\Omega$	15 ppm	15 ppm	$\pm 2\ %$	$\pm 2\ %$	$100\ \text{V}_{\text{pk}}$
$1000.000\ \text{k}\Omega$	-	30 ppm	-	$\pm 2\ %$	$100\ \text{V}_{\text{pk}}$
$10.00000\ \text{M}\Omega$	-	500 ppm	-	$\pm 5\ %$	$100\ \text{V}_{\text{pk}}$
$100.0000\ \text{M}\Omega$	-	0.1 %	-	$\pm 10\ %$	$100\ \text{V}_{\text{pk}}$
$1000.000\ \text{M}\Omega$	-	0.25 %	-	$\pm 15\ %$	$100\ \text{V}_{\text{pk}}$

Tab. 3.7: Nejistoty měření při stálém odporu [10]

3.1.9 Stálá kapacita

Rozsah funkce stálého odporu je od $1\ \text{nF}$ do $100\ \mu\text{F}$. Hodnoty nejistot lze nalézt v tabulce 3.8. Jedná se o pevné součástky umístěné v přístroji, které nabývají nominálních hodnot uvedených v tabulce.

Nominal value	Calibration value unc.	Max. test frequency	Maximum load
$1.000000\ \text{nF}$	2.5 %	1000 Hz	$5\ \text{V}_{\text{rms}}$
$10.00000\ \text{nF}$	0.35 %	1000 Hz	$5\ \text{V}_{\text{rms}}$
$100.0000\ \text{nF}$	0.25 %	500 Hz	$5\ \text{V}_{\text{rms}}$
$1.000000\ \mu\text{F}$	0.25 %	300 Hz	$5\ \text{V}_{\text{rms}}$
$10.00000\ \mu\text{F}$	0.35 %	300 Hz	$100\ \text{mA}_{\text{rms}}$
$100.0000\ \mu\text{F}$	0.8 %	300 Hz	$100\ \text{mA}_{\text{rms}}$

Tab. 3.8: Nejistoty měření při stálé kapacitě [10]

3.2 Multimetr FLUKE 8588A

Multimetr Fluke 8588A při měření bude sloužit jako kontrolní měřicí přístroj. Tento přístroj byl umístěn mimo klimatickou komoru, tedy měřil při stálých laboratorních podmínkách $23\pm 1^\circ\text{C}$. FLUKE 8588A byl vybrán, protože dokáže měřit všechny potřebné veličiny, tedy stejnosměrný a střídavý proud a napětí, odpor a kapacitu. Rozlišení tohoto přístroje je $8\ 1/2$ digitů. Napěťové rozsahy jsou definovaný až do

hodnoty 1050 V, proudové rozsahy do hodnoty 30 A, odporové rozsahy do 10 G Ω a kapacitní rozsahy do 100 mF. Nejistoty měření tohoto přístroje lze zjistit ve specifikacích [11].



Obr. 3.3: Multimetr Fluke 8588A

3.3 Klimatická komora CLIMACELL 222

Klimatická komora Climacell 222 slouží k simulování klimatických podmínek. Klimatická komora je vybavena šesti různými programy, které se liší průběhem teploty, jejím udržováním, zvyšováním a snižováním během klimatických zkoušek.

Při testování Kalibrátoru 9010 byl využit program, který plynule nastavil teplotu a vlhkost na požadované hodnoty uvedené v kapitole 4.2 a na těchto hodnotách podmínky v klimatické komoře udržoval. Klimatické podmínky v komoře byly v průběhu zkoušky nastavovány manuálně.

V klimatické komoře lze simulovat teplotní podmínky od 0 do 100°C bez nastavitelné relativní vlhkosti a od 10 do 90°C s nastavitelnými podmínkami relativní vlhkosti na rozsahu od 10 do 98%. Klimatická komora má objem 222 litrů. Díky klimatické komoře lze dosáhnout opakovatelnosti měření. Po ustálení teploty dokáže klimatická komora udržet teplotu s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Více informací o klimatické komoře Climacell 222 lze nalézt ve specifikacích klimatické komory [12]. Fotografie klimatické komory Climacell 222 je na obrázku 7.25 v příloze č.4.

4 Návrh testovaných bodů

Cílem této kapitoly je navrhnout testované funkce, rozsahy a body, které se při klimatických zkouškách budou kontrolovat. Při návrhu bodů měření se bude vycházet ze specifikací Kalibrátoru 9010 uvedené v kapitole 3.1.

4.1 Kontrolované funkce

Po dohodě s firmou Meatest byly vybrány následující základní funkce Kalibrátoru 9010:

- Stejnoseměrné napětí - VDC-2W
- Střídavé napětí - VAC-2W
- Stejnoseměrný proud - IDC
- Střídavý proud - IAC
- Odpor - RDC-4W (2W)
- Kapacita - C-2W
- Fixní odpor - LVR_FIX_4W (2W)
- Fixní kapacita - C_FIX_2W

4.2 Testované klimatické podmínky

V tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty teplot, při kterých se budou provádět klimatické zkoušky Kalibrátoru 9010 pro všechny funkce uvedené v kapitole 4.1. Tyto teploty byly vybrány vzhledem k definici referenčních a provozních podmínek v manuálu Kalibrátoru 9010 [10], kde je referenční teplota definována na rozsahu od 22°C do 24°C a teplota provozní od 13°C do 33°C. Teploty jsou zvoleny tak, aby došlo ke kontrole funkčnosti přístroje právě při referenčních a provozních podmínkách. Zkoušky pro jednotlivé teploty se budou provádět dvakrát pro vlhkosti 40 % a 70 %. Vlhkost 70% je v manuálu [10] definována jako maximální vlhkost při referenčních a provozních podmínkách. Vlhkost 40% byla zvolena, protože odpovídá běžnému výskytu vlhkosti.

4.3 Rozsahy hodnot měřených funkcí

Hodnoty kontrolovaných rozsahů byly zvoleny podle nastavitelných hodnot rozsahů Kalibrátoru 9010. Pro střídavé a stejnosměrné napětí jsou hodnoty uvedeny v tabulce 3.2. Pro stejnosměrný a střídavý proud jsou hodnoty rozsahu uvedeny v tabulce 3.3. Pro funkce simulace odporu a simulace kapacity jsou zvolené hodnoty rozsahu

Teplota [°C]
13
20
22
23
24
30
33

Tab. 4.1: Tabulka testovaných teplot

uvedeny v tabulkách 7.5 a 7.6 v příloze č.1. Pro funkce stálého odporu a stálé kapacity jsou zvolené hodnoty rozsahu uvedeny v tabulkách 3.7 a 3.8.

4.4 Body měření

V této kapitole jsou navrženy body měření pro rozsahy jednotlivých funkcí.

4.4.1 Stejnosměrné napětí a proud

Body pro tuto funkci byly zvoleny tak, aby vždy došlo k proměření rozsahů jak kladných hodnot, tak i záporných a zároveň aby hodnoty z jiného rozsahu nezasahovaly do rozsahu jiného. Body byly zvoleny na začátku, uprostřed a na konci rozsahu. V tabulkách 7.12 a 7.13 v příloze č.1 jsou zobrazeny body měření pro funkci stejnosměrného napětí a proudu.

4.4.2 Střídavé napětí a proud

Body měření funkcí střídavého napětí a proudu byly zvoleny obdobně jako u funkcí stejnosměrného napětí a proudu. Navíc zde bylo přidáno proměření frekvenčních rozsahů, aby bylo zjištěno, jak je teplotou a vlhkostí ovlivněno generování signálu na definovaných frekvencích, které jsou v manuálu Kalibrátoru 9010 [10] specifikovány následovně:

Střídavé napětí:

- 15 Hz - 300 kHz pro hodnoty menší než 2V
- 15 Hz - 100 kHz pro hodnoty na rozsahu 2V až 20V
- 15 Hz - 30 kHz pro hodnoty na rozsahu 20V až 200V

- 15 Hz - 10 kHz pro hodnoty na rozsahu 200V až 280V
- 20 Hz - 1 kHz pro hodnoty větší než 280V

Střídavý proud:

- 15 Hz - 10 kHz pro hodnoty menší než 200mA
- 15 Hz - 5 kHz pro hodnoty na rozsahu 200mA až 2A
- 15 Hz - 1000 Hz pro hodnoty větší než 2A

V tabulce 7.14 a 7.15 v příloze 1 jsou uvedeny body měření pro funkci střídavého napětí a proudu.

4.4.3 Odpory a kapacity

Body měření odporu a kapacity jsou voleny tak, aby došlo k proměření celého rozsahu funkcí simulace odporu a simulace kapacity. Pro měření odporů na rozsazích od 10Ω do $100k\Omega$ byla využita funkce pro čtyřvodičové měření odporu z důvodu odstranění vlivu parazitního odporu přírodních vodičů. Pro rozsahy nad $100k\Omega$ byl parazitní odpor vodičů zanedbán. Byla využita funkce pro dvouvodičové měření odporu. V tabulce 7.16 a 7.17 v příloze 1 jsou uvedeny jednotlivé kontrolované body.

4.4.4 Stálý odpor a kapacita

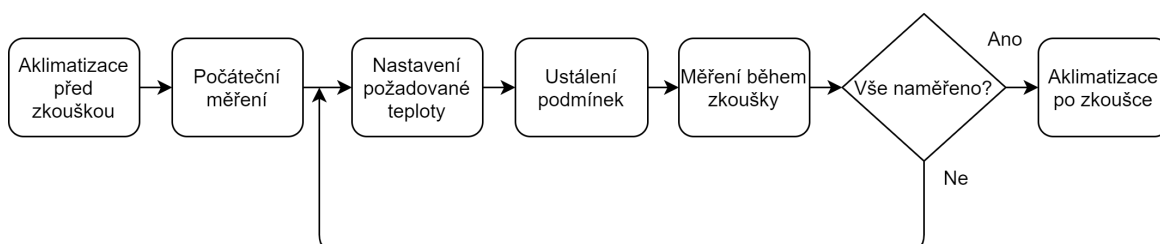
Stálé hodnoty jsou definované přímo hodnotou odporu či kapacity součástky. V tabulce 7.18 v příloze 1 jsou uvedeny kontrolované body.

5 Postup při zkoušce

Zkoušky byly prováděny v následujících krocích:

1. Aklimatizace před zkouškou - Kalibrátor 9010 byl vložen do klimatické komory Climacell CLC 222, která byla nastavena na referenční teplotu 23 °C a na vlhkost 40 %. Po dobu minimálně dvou hodin se kalibrátor tepelně ustalovat. Čas aklimatizace byl volen tak, aby se zaručeně dosáhlo ustálení teploty mezi podmínkami klimatické komory Climacell 222 a Kalibrátoru 9010.
2. Počáteční měření - Po tepelném ustálení se provedlo počáteční měření pomocí programu CALIBER.
3. Nastavení požadované teploty - Teplota v klimatické komoře se nastavila na teplotu 13°C s tím, že vlhkost zůstala stejná.
4. Ustálení podmínek - Při každé změně teploty se nejméně 2 hodiny počkalo na ustálení teploty Kalibrátoru 9010 a teploty v klimatické komoře.
5. Měření během zkoušky - Spustila se procedura pro měření napětí a proudu (popsána v kapitole 6) v programu CALIBER, která automaticky naměřila hodnoty.
6. Změna teploty - Po naměření požadovaných hodnot se manuálně změnila teplota v klimatické komoře na další teplotu v tabulce. Body 3, 4, 5, 6 se opakovaly do naměření všech potřebných hodnot pro obě zvolené vlhkosti.
7. Aklimatizace po zkoušce - Po naměření všech potřebných bodů se teplota v klimatické komoře opět nastavila na 23 °C, tedy teplotu laboratoře, a přístroj se nechal teplotně ustálit.

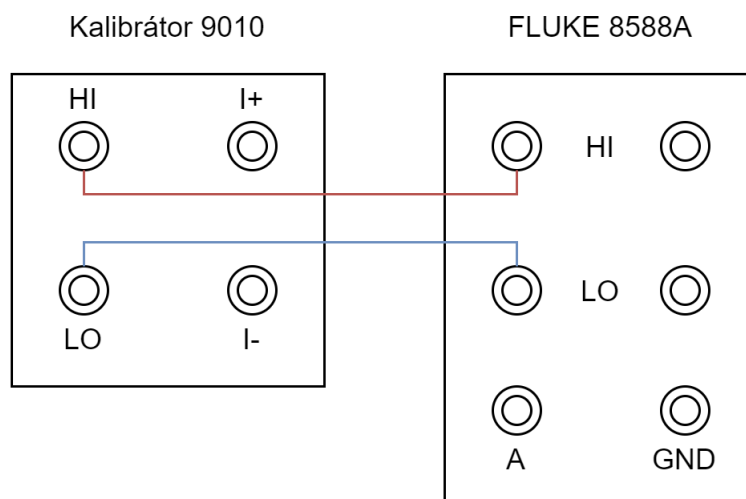
K měření byly vytvořeny dvě zvláštní procedury s rozdílným zapojením. Vytváření těchto procedur je podrobně popsáno v kapitole 6. Tento postup byl tudíž opakován dvakrát, aby při přepojování svorek došlo k úniku tepla a vlhkosti z komory. Na obrázku 6.1 je názorný diagram průběhu měření.



Obr. 5.1: Diagram postupu při zkoušce

5.1 Měření napětí

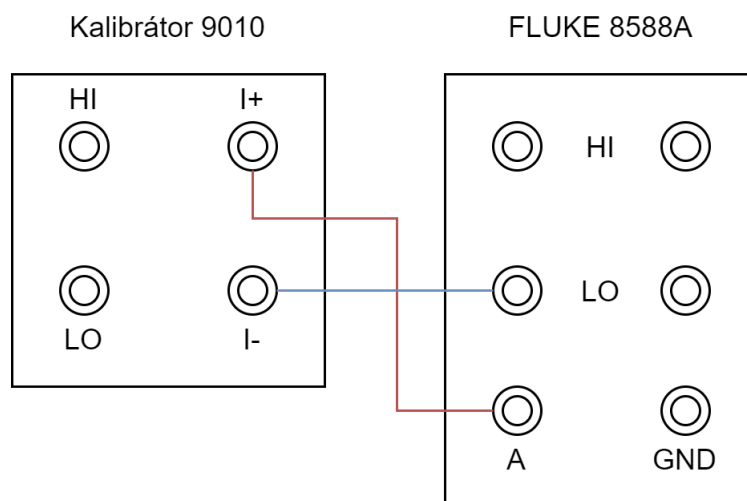
Na obrázku 5.2 je zapojení pro měření stejnosměrného a střídavého napětí. Zapojení bylo realizováno přímým propojením svorek HI a LO na Kalibrátoru 9010 se svorkami HI a LO na multimetru FLUKE 8588A. V zapojení byl Kalibrátor 9010 umístěn v klimatické komoře a vodiče propojující přístroje byly vedeny z komory skrze průchodku.



Obr. 5.2: Reálné zapojení přístroje pro měření stejnosměrného a střídavého napětí

5.2 Měření proudu

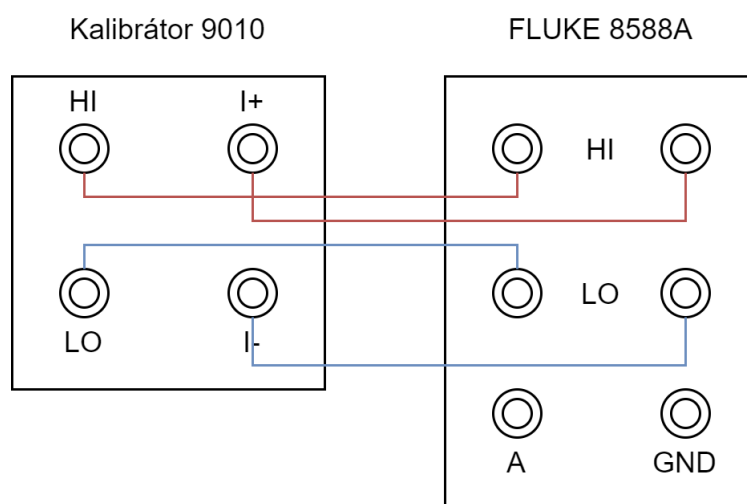
K ověření funkčnosti přístroje bylo zapotřebí provést kontrolu přístrojem přesnějším (přístrojem s nižší nejistotou měření). Kontrolní přístroj by měl být alespoň 5x přesnější [14], proto bylo pro měření proudu zvažováno užití nepřímého měření pomocí bočníku pro vysoké proudy. Toto řešení by však zapříčinilo potřebu častého přepojování svorek, což by bylo v rozporu se zadáním, kde je definována minimalizace přepojování svorek, tudíž i přes nedostatečnou přesnost kontrolního měřícího přístroje FLUKE 8588A bylo po konzultaci s firmou Meatest rozhodnuto pro měření využít metodu přímého měření proudu. Na obrázku 5.3 zobrazeno zapojení pro měření stejnosměrného a střídavého proudu. V zapojení byl Kalibrátor 9010 umístěn v klimatické komoře a vodiče propojující přístroje byly vedeny z komory skrze průchodku.



Obr. 5.3: Reálné zapojení přístroje pro měření stejnosměrného a střídavého proudu

5.3 Měření odporů a kapacit

Na obrázku 5.4 je schéma zapojení pro měření odporů a kapacit. V zapojení byl Kalibrátor 9010 umístěn v klimatické komoře a vodiče propojující přístroje byly vedeny z komory skrze průchodku.



Obr. 5.4: Reálné zapojení přístroje pro měření odporů a kapacit

6 Vytvoření procedur

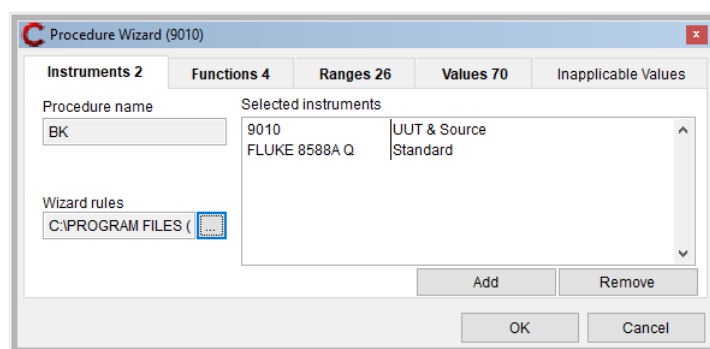
Pro měření byly vytvořeny dvě nezávislé procedury pomocí programu CALIBER. Jedna pro automatizované měření stejnosměrného a střídavého napětí a proudu a druhá pro automatizované měření funkce simulace odporu a kapacit a stálých odporů a kapacit.

Program sám řídí nastavování přístrojů na definované hodnoty skrze datovou sběrnici RS232 a VISA. Detailní návod na vytvoření nové procedury je uveden v uživatelské příručce programu Caliber [9].

6.1 Procedura pro měření napětí a proudů

Pro zvolení měřených bodů nebyly vytvořeny pravidla generování. Pravidla generování by se dala obecně využít v případě, kdyby procedur bylo vytvářeno velké množství se stejnými měřenými body. Jednotlivé body měření byly manuálně upravovány přímo v již vytvořené proceduře skrze stavové okno, popsáno v kapitole 2.3.1, na hodnoty uvedené v kapitole 4.4.

Dále byla vytvořena samotná procedura, kde prvním krokem bylo pojmenování procedury a zvolení pravidel generování. Procedura byla pojmenována 9010_UI. Jako pravidla generování byla zvolena defaultní pravidla generování. Dalším krokem bylo zvolení přístrojů potřebné k měření, tedy Kalibrátor 9010, Fluke 8588A, toto lze vidět na obrázku 6.1. Schema zapojení přístrojů v programu CALIBER je na obrázku 6.2.

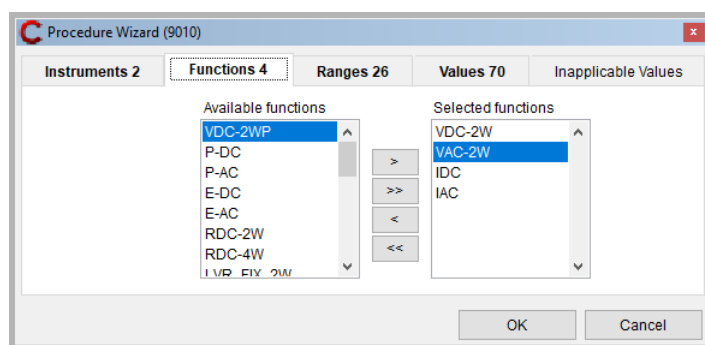


Obr. 6.1: Přístroje v programu CALIBER



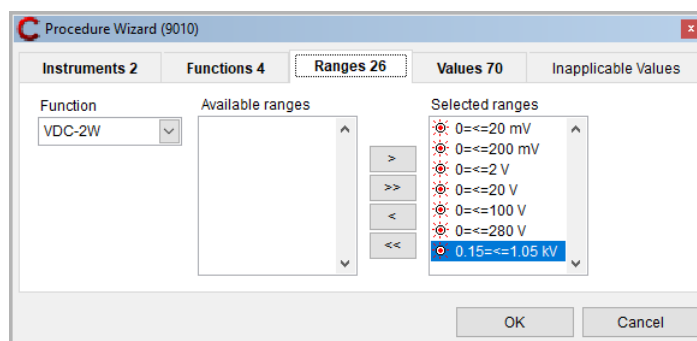
Obr. 6.2: Schéma zapojení v programu CALIBER pro měření napětí a proudů

Na obrázku 6.3 je zobrazena záložka, která slouží ke zvolení měřených funkcí.



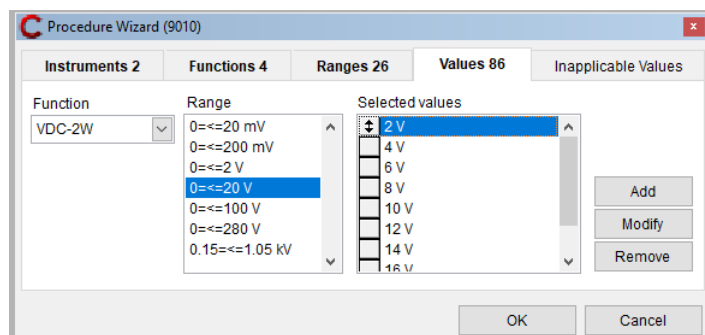
Obr. 6.3: Funkce v programu CALIBER

Na obrázku 6.4 je okno pro výběr rozsahů. Ty byly generovány dle defaultních pravidel generování. Rozsahy byly zadány podle nastavitelných rozsahů Kalibrátoru 9010. Více v kapitole 4.3.



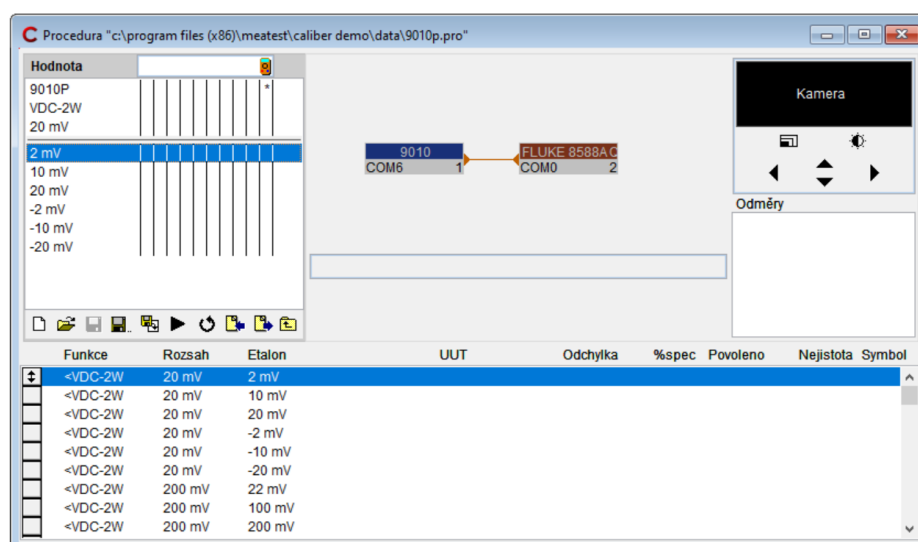
Obr. 6.4: Rozsahy v programu CALIBER

Na obrázku 6.5 je okno pro výběr jednotlivých bodů měření. Tyto body byly automaticky generovány podle pravidel generování.



Obr. 6.5: Body v programu CALIBER

Na obrázku 6.6 je finální vzhled vytvořené procedury. Tato procedura je v elektronické příloze dokumentu.



Obr. 6.6: Procedura v programu CALIBER

6.2 Procedura pro měření odporů a kapacit

V této proceduře figurovaly také dva přístroje a to Kalibrátor 9010 a Fluke 8588A. Na obrázku 6.7 je zapojení těchto přístrojů v programu CALIBER. Tato procedura byla pojmenována 9010_RC. Při vytváření této procedury se postupovalo obdobně, jako u procedury pro měření napětí a proudů, pouze s jinými funkcemi. Tato procedura je rovněž součástí elektronické přílohy.



Obr. 6.7: Schéma zapojení pro měření odporů a kapacit

7 Zhodnocení naměřených dat

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření. Měření probíhalo podle specifikací uvedených v kapitole 5 na definovaných bodech popsaných v kapitole 4. Naměřená data byla z originálního protokolu ve formátu .txt (z programu Caliber) importována do přehledných tabulek v programu Excel. Tabulky byly doplněny o výpočty normalizovaných hodnot a korekce teploty. Výpočty jsou podrobně popsány v kapitolách 7.1 a 7.2. Z těchto tabulek dále byly zhotoveny grafy teplotních a vlhkostních závislostí Kalibrátoru 9010. Tyto tabulky a grafy, vytvořené na základě konzultace s firmou Meatest, lze i s originálními protokoly nalézt v elektronické příloze této práce. Naměřené a vypočtené hodnoty funkcí stejnosměrné napětí, stejnosměrný proud, střídavé napětí a střídavý proud jsou v tabulkách 1 až 14 v elektronické příloze. Naměřené a vypočtené hodnoty funkcí odpor, stálý odpor, kapacita a stálá kapacita jsou v tabulkách 15 až 28 v elektronické příloze.

7.1 Teplotní korekce

Specifikace Kalibrátoru 9010 uvádí, že při teplotách mimo rozsah referenční teploty ($23 \pm 1^\circ\text{C}$) je potřeba brát v úvahu rozšíření teplotním koeficientem, který manuál definuje jako 10% ze specifikace na 1°C [10]. Výrobce tímto definuje, jak moc se mohou měnit naměřené hodnoty v závislosti na měnící se teplotě. Aby bylo ověřeno, že teplotní koeficient definovaný manuálem je správný, musí být brán v úvahu. To znamená, že musí dojít k teplotní korekci hodnot v tabulkách označených jako *Povoleno*, které reprezentují maximální povolenou odchylku měření. Tímto je dosaženo toho, že povolená hodnota odchylky se zvýší a vykompenzuje se tím možná zvýšená odchylka pro teploty mimo referenční rozsah. Toto lze vidět v tabulce 7.1, kde jsou uvedeny také hodnoty související s normalizací hodnot, viz. kapitola 7.2. Ukázkový výpočet pro hodnotu uvedenou v tabulce je v kapitole 7.1.1.

Vlhkost 40%							
UUT [Ω]	Odchylka_13 [mΩ]	Odchylka_23 [mΩ]	%spec [%]	Povoleno [mΩ]	Povoleno_K [mΩ]	Odchylka_N [mΩ]	%spec_NK [%]
1	-1,192	0,34	-92	1,3	2,47	-1,532	-62
10	-0,02	-1,57	0	4	7,6	1,55	20

Tab. 7.1: Tabulka korekce teploty a normalizace hodnot

7.1.1 Přepočet hodnot s korekcí teploty

Rovnice 1 udává řešení přepočtu pro maximální povolenou odchylku dle specifikací uvedených v kapitole 7.1. Ukázkový výpočet je proveden pro funkci odporu v bodě

měření 1Ω měřeném při teplotě 13°C a vlhkosti 40% z tabulky 7.1.

$$Povoleno_K = (1 + 0,1 \cdot \Delta\Theta) \cdot Povoleno = (1 + 0,1 \cdot 9) \cdot 1,3 = 2,47m\Omega \quad [1]$$

Povoleno_K....maximální povolená odchylka přepočítána s rozšiřujícím teplotním koeficientem

$\Delta\Theta$teplotní rozdíl od rozsahu referenční teploty

Povoleno....maximální povolená odchylka dána programem Caliber

Výpočty byly provedeny pro všechna naměřená data na teplotách 13°C , 20°C , 30°C , 33°C . Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tabulkách v elektronické příloze.

7.2 Normalizace hodnot

Aby byly zřejmé účinky teploty a vlhkosti na Kalibrátor 9010, provedla se normalizace hodnot *Odchylka* na referenční teplotu 23°C . To znamená, že *Odchylka* pro teplotu 23°C byla odečtena od všech hodnot *Odchylka* pro všechny definované teploty. Tímto bylo definováno, že naměřené hodnoty při teplotě 23°C jsou správné, tedy hodnota přepočtené odchylky pro teplotu 23°C je nulová. Hodnota *Odchylka* je definována jako rozdíl hodnoty generované kalibrátorem 9010 a hodnoty etalonu Fluke 8588A. Z této normalizované hodnoty odchylky byla dále vypočtena hodnota čerpání specifikace *%spec_NK*, která definuje poměr odchylky k maximální povolené hodnotě odchylky v procentech. Ukázkové výpočty jsou provedeny v rovnici 2 a 3 pro funkci odporu v bodě měření 1Ω měřené při teplotě 13°C a vlhkosti 40% z tabulky 7.1.

$$Odchylka_N = Odchylka_13 - Odchylka_23 = -1,192 - 0,34 = -1,532m\Omega \quad [2]$$

Odchylka_13....naměřená odchylka při teplotě 13°C

Odchylka_23....naměřená odchylka při teplotě 23°C

$$\%spec_NK = \frac{Odchylka_N}{Povoleno_K} * 100 = \frac{-1,532}{2,47} \cdot 100 = -62\% \quad [3]$$

%spec_NK....normalizovaná hodnota čerpání specifikace

Odchylka_N....normalizovaná hodnota odchylky

Povoleno_K....přepočtená maximální povolená odchylka

Výpočty byly provedeny pro všechna naměřená data. Výsledky těchto výpočtů

jsou uvedeny v tabulkách v elektronické příloze. Z normalizovaných hodnot byly vytvořeny všechny grafy uvedeny v této práci.

Pro zjištění účinků vlhkosti byly normalizovány hodnoty *Odchylka* na vlhkost 40% a obdobným výpočtem se získala hodnota *%spec_NK*.

7.3 Stejnoseměrné napětí

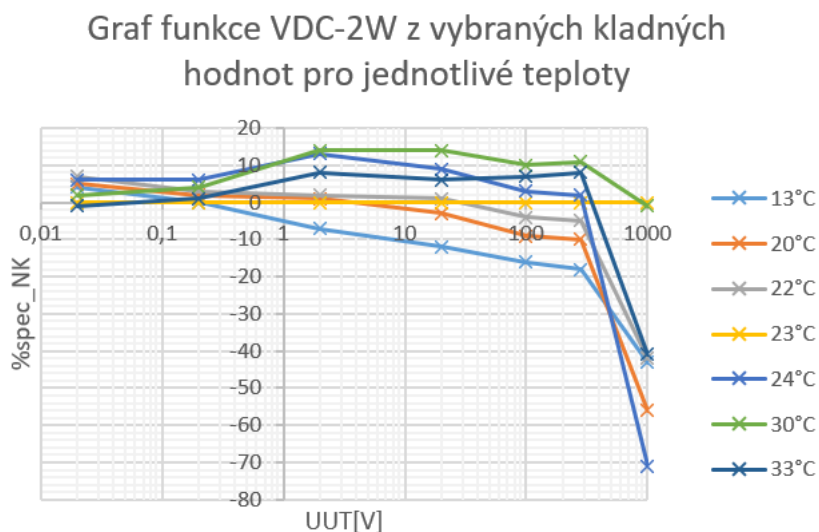
Funkce stejnosměrného napětí Kalibrátoru 9010 byla testována při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2 na kladném i záporné rozsahu hodnot napětí.

7.3.1 Kladný rozsah napětí

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření stejnosměrného napětí na kladných hodnotách rozsahu. Funkce byla testována v bodech, které jsou definovány v tabulce 7.12.

Závislost na teplotě

Z grafu funkce stejnosměrného napětí při kladných hodnotách ze všech rozsahů, z obrázku 7.1, je možno vyčíst, že funkce je nejvíce teplotně ovlivněna na rozsahu 1 kV.



Obr. 7.1: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných kladných hodnotách funkce stejnosměrného napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

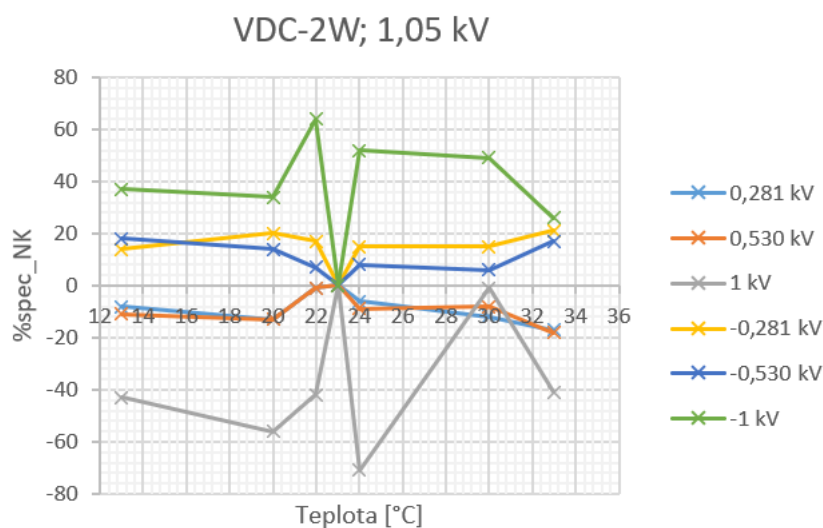
V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahů, tedy 20mV, 200mV, 2V, 20V, 100V, 280V a 1kV. Z grafu je zřejmé, že se zvyšující testovanou hodnotou stejnosměrného napětí se zvyšuje také hodnota čerpání specifikace. Pro ostatní funkce bude graf z celého rozsahu uveden v příloze č.2.

V tabulce 7.2 jsou uvedeny normalizované hodnoty čerpání specifikace funkce stejnosměrného napětí na teplotou nejvíce ovlivněném rozsahu 1 kV, pro všechny teploty a vlhkost 40%.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [kV]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
0,281	-8	-13	-1	0	-6	-12	-17
0,53	-11	-13	-1	0	-9	-8	-18
1	-43	-56	-42	0	-71	-1	-41

Tab. 7.2: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace stejnosměrného napětí na rozsahu 1 kV pro vlhkost 40%

Právě z důvodu největšího ovlivněním teplotou byl z této tabulky vytvořen také detailní graf rozsahu 1 kV, který je společně s hodnotami záporného rozsahu funkce stejnosměrného napětí na obrázku 7.2.



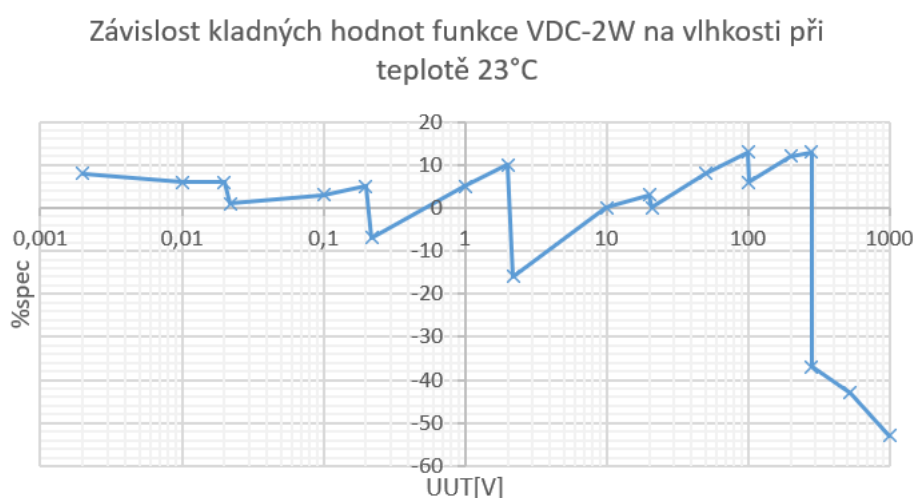
Obr. 7.2: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách teploty pro jednotlivé body měření funkce stejnosměrného napětí na rozsahu 1kV (-1kV) při vlhkosti 40%

Nejvyšší hodnoty čerpání specifikace bylo dosaženo při teplotě 24°C pro měřený bod 1kV. Hodnota čerpání specifikace v tomto bodě byla -71%. Nejvíce teplotně ovlivněným bodem měření je 1 kV, kde se hodnoty čerpání specifikace pohybují v

řádu desítek procent s výjimkou teploty 30°C, kde je hodnota čerpání specifikace -1%. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

Závislost na vlhkosti

Pro přehledné zobrazení závislosti na vlhkosti se hodnoty čerpání specifikace normalizovaly na hodnotu relativní vlhkosti 40%. Relativní vlhkost měla opět největší vliv na rozsahu 1kV, kde se normalizovaná hodnota čerpání specifikace pohybovala pod -35%. Na ostatních rozsazích rozdíl procenta čerpání specifikace nepřesáhl hodnotu $\pm 20\%$. Na obrázku 7.3 je zobrazen graf z normalizovaných hodnot na vlhkost 40%. V grafu je vidět právě nárůst čerpání specifikace na rozsahu 1kV.



Obr. 7.3: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na kladných hodnotách bodů měření stejnosměrného napětí při teplotě 23°C

Grafy závislosti na vlhkosti budou pro ostatní funkce umístěny v příloze č.3. V odpovídajících kapitolách budou pouze popsány.

7.3.2 Záporný rozsah napětí

Při klimatických zkouškách funkce stejnosměrného napětí byly otestovány také záporné hodnoty rozsahu, které budou v této kapitole zhodnoceny. Jednotlivé body měření pro záporný rozsah jsou uvedeny v tabulce 7.12 v příloze č.1.

Závislost na teplotě

Stejně jako na kladných rozsazích byla funkce stejnosměrného napětí na záporných rozsazích teplotou nejvíce ovlivněna na nejvyšším rozsahu a to -1kV. Normalizované hodnoty čerpání specifikace právě pro rozsah -1kV jsou uvedeny v tabulce 7.3.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [kV]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
-0,281	14	20	17	0	15	15	21
-0,53	18	14	7	0	8	6	17
-1	37	34	64	0	52	49	26

Tab. 7.3: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného napětí na rozsahu -1 kV pro vlhkost 40%

Hodnoty z tabulky byly vyneseny do grafu, který je na obrázku 7.2 společně s hodnotami z kladného rozsahu 1kV. V grafu je možné vidět, že normalizovaná hodnota čerpání specifikace dosahuje hodnoty až 64% pro teplotu 22°C. Nejvíce teplotou ovlivněným měřeným bodem je bod 1kV, kde se hodnoty čerpání specifikace pohybují nad 30%.

Na rozsazích mimo -1kV se čerpání specifikace v závislosti na teplotě měnilo v rozmezí od 14% do -16%, což je vidět na obrázku 7.11 v příloze č.2, společně s navýšením hodnoty čerpání specifikace právě na rozsahu 1kV. V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahu, tedy -20mV, -200mV, -2V, -20V, -100V, -280V a -1kV. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

Závislost na vlhkosti

Relativní vlhkost měla také největší vliv na rozsahu -1kV, kde normalizovaná hodnota čerpání specifikace dosáhla až hodnoty 141%. Na ostatních rozsazích rozdíl procenta čerpání specifikace nepřesáhl hodnotu $\pm 20\%$. Na obrázku 7.16 v příloze č.3 je zobrazen graf z normalizovaných hodnot na vlhkost 40%. V grafu je vidět právě nárůst čerpání specifikace na rozsahu -1kV.

7.3.3 Shrnutí

Na kladných i záporných rozsazích byla funkce stejnosměrného napětí nejvíce teplotně a vlhkostně ovlivněna na nejvyšším rozsahu a to 1kV, respektive -1kV.

7.4 Stejnosměrný proud

Funkce stejnosměrného proudu Kalibrátoru 9010 byla testována při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2 na kladném a záporné rozsahu hodnot proudu.

7.4.1 Kladný rozsah proudu

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření stejnosměrného proudu na kladných hodnotách rozsahu. Funkce byla testována v bodech, které jsou definovány v tabulce 7.13 v příloze č.1.

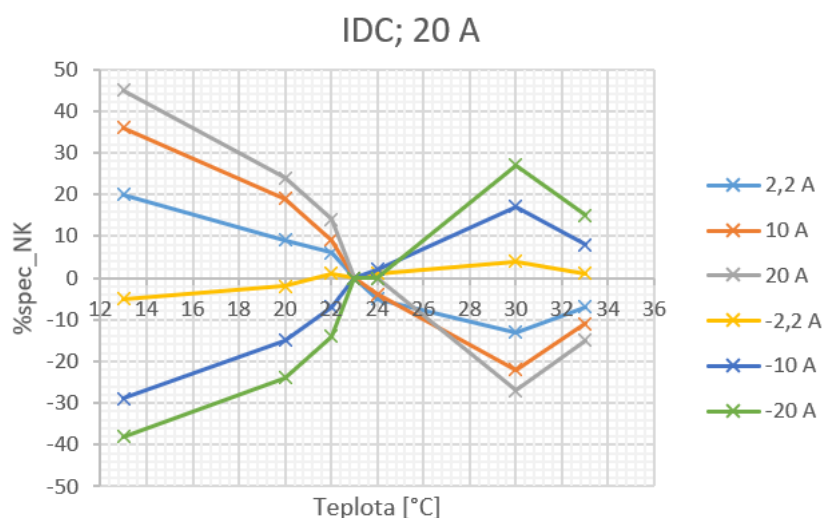
Závislost na teplotě

V tabulce 7.4 jsou uvedeny normalizované hodnoty čerpání specifikace pro kladný rozsah hodnot funkce stejnosměrného proud na rozsahu 20 A, který byl teplotou ovlivněn nejvíce ze všech definovaných rozsahů.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [A]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
2,2	20	9	6	0	-5	-13	-7
10	36	19	9	0	-4	-22	-11
20	45	24	14	0	0	-27	-15

Tab. 7.4: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného proudu na rozsahu 20 A pro vlhkost 40%

Z této tabulky byl vytvořen graf, který je na obrázku 7.4.



Obr. 7.4: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách teploty pro jednotlivé body měření funkce stejnosměrného proudu na rozsahu 20A (-20A) při vlhkosti 40%

Z grafu a tabulky lze vyčíst, že největší hodnoty čerpání specifikace je dosaženo při teplotě 13°C pro všechny měřené body. Maximální hodnoty čerpání specifikace je dosaženo v bodě měření 20A. Tato hodnota činí 45%. Čerpání specifikace opět

narůstá na teplotě 30°C, kde dosahuje hodnoty -27%. Na obrázku 7.12 v příloze č.2 je vyobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných kladných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%. V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahu, tedy 200μA, 2mA, 20mA, 200mA, 2A a 20A. Z tohoto grafu je možno vyčíst, že největší hodnoty čerpání specifikace je dosaženo na proudovém rozsahu 20A. Také je zřejmé, že nejvyššího čerpání specifikace na všech testovaných bodech je dosaženo při 13°C. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.17 v příloze 3 je vyobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na kladných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C. Z grafu lze vyčíst, že funkce stejnosměrného proudu je při teplotě 23°C vlhkostí ovlivněna jen minimálně. Čerpání specifikace dosahuje maximální hodnoty 9% v bodě měření odpovídajícímu 2A.

7.4.2 Záporný rozsah proudu

Při klimatických zkouškách funkce stejnosměrného proudu byly otestovány také záporné hodnoty rozsahu, které budou v této kapitole zhodnoceny. Jednotlivé body měření pro záporný rozsah jsou uvedeny v tabulce 7.2 v příloze č.1.

Závislost na teplotě

V tabulce 7.5 jsou uvedeny normalizované hodnoty čerpání specifikace pro záporný rozsah hodnot funkce stejnosměrného proudu na rozsahu 20 A, který byl teplotou ovlivněn nejvíce ze všech definovaných rozsahů stejně jako kladný rozsah.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [A]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
-2,2	-5	-2	1	0	1	4	1
-10	-29	-15	-7	0	2	17	8
-20	-38	-24	-14	0	0	27	15

Tab. 7.5: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stejnosměrného proudu na rozsahu -20 A pro vlhkost 40%

Z této tabulky byl vytvořen graf, který je na obrázku 7.4 společně s hodnotami z kladného rozsahu hodnot. Stejně jako na kladných rozsazích byla funkce stejnosměrného proudu teplotou nejvíce ovlivněna na nejvyšším rozsahu a to -20A. Z grafu a tabulky lze vyčíst, že největší hodnoty čerpání specifikace je dosaženo při teplotě

13°C pro všechny měřené body. Maximální hodnoty čerpání specifikace je dosaženo v bodě měření 20A a tato hodnota činí -38%. Čerpání specifikace opět narůstá na teplotě 30°C, kde dosahuje hodnoty 27%.

Na obrázku 7.13 v příloze č.2 je vyobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných záporných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%. V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahu, tedy -200μA, -2mA, -20mA, -200mA, -2A a -20A. Z grafu je vidět, že funkce stejnosměrného proudu na záporném rozsahu je nejvíce ovlivněna právě na rozsahu -20A. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.18 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na záporných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C. Z grafu lze vyčíst, že funkce stejnosměrného proudu je při teplotě 23°C vlhkostí ovlivněna jen minimálně. Čerpání specifikace dosahuje maximální hodnoty -7% v bodě měření odpovídajícím 2,2mA.

7.4.3 Shrnutí

Na kladných i záporných rozsazích byla funkce stejnosměrného proudu nejvíce teplotně ovlivněna na nejvyšším rozsahu a to 20A, respektive -20A. Funkce stejnosměrného napětí je nejvýrazněji ovlivněna teplotou 13°C. Funkce není výrazně závislá na vlhkosti.

7.5 Střídavé napětí

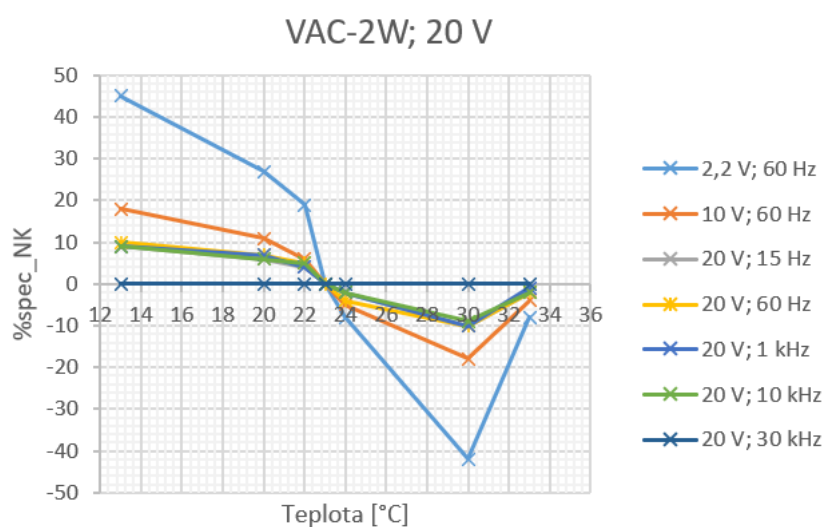
V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření střídavého napětí. Funkce střídavého napětí Kalibrátoru 9010 byly testovány při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

7.5.1 Závislost na teplotě

V tabulce 7.6 jsou uvedeny normalizované hodnoty čerpání specifikace funkce střídavého napětí na rozsahu 20 V. Z této tabulky lze vyčíst, že nejvyšších hodnot čerpání specifikace bylo dosaženo v bodě měření 2,2 V při frekvenci 60Hz. Při 13°C hodnota čerpání specifikace činila 52%. Z tabulky 7.6 byl vytvořen graf pro detailní zobrazení rozsahu 20V. Tento graf je zobrazen na obrázku 7.5.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [V]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
2,2; 60 Hz	52	41	11	0	2	-42	-4
10; 60 Hz	21	16	5	0	1	-18	-2
20; 15Hz	11	9	2	0	0	-10	-2
20; 60 Hz	12	10	4	0	0	-10	-1
20; 1 kHz	11	9	4	0	2	-10	-1
20; 10 kHz	11	7	4	0	2	-9	-2
20; 30 kHz	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7.6: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce střídavého napětí na rozsahu 20 V pro vlhkost 40%



Obr. 7.5: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách teploty pro jednotlivé body měření funkce střídavého proudu na rozsahu 20V při vlhkosti 40%

V grafu na obrázku 7.5 lze vidět právě zvýšená hodnota v bodě měření 2,2 V při frekvenci 60Hz, a to při všech měřených teplotách.

Na obrázku 7.14 v příloze č.2 je vyobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%. V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahu, tedy -20mV, -200mV, -2V, -20V, -100V, -280V a -1kV a frekvenci 60Hz. Na grafu lze vidět, že se čerpání specifikace zásadně nemění. Hodnoty čerpání specifikace dosahují nejvyšších hodnot na rozsahu 2 V. Hodnoty se pohybují na intervalu $\pm 20\%$. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

7.5.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.19 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách bodů měření střídavého napětí při teplotě 23°C. Tento graf je vytvořen z hodnot odpovídajících frekvenci 60Hz. Z grafu je zřetelné, že vlhkost zásadně neovlivňuje funkci střídavého napětí. Také je možno vyčíst, že hodnoty na začátcích jednotlivých rozsahu jsou ovlivněny více než hodnoty na středu a na konci rozsahů.

7.5.3 Shrnutí

Funkce není výrazně závislá na vlhkosti. Z detailních grafů pro jednotlivé rozsahy si lze všimnout, že teplotou jsou nejvíce ovlivněny body, které jsou zvoleny jako nízké hodnoty z jednotlivých rozsahů, tedy 2mV, 22mV, 0,22V, 2,2V, 22V, 101V a 281V.

7.6 Střídavý proud

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření střídavého proudu. Funkce střídavého proudu Kalibrátoru 9010 byla testována při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

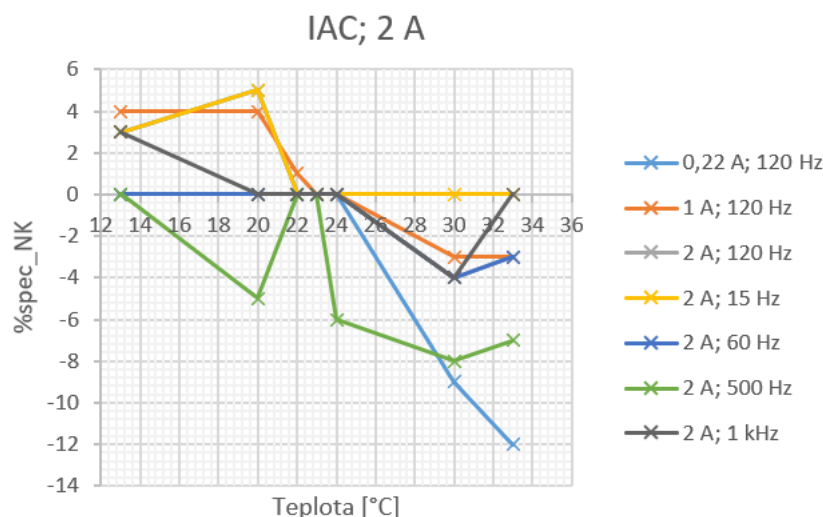
7.6.1 Závislost na teplotě

V tabulce 7.7 jsou uvedeny normalizované hodnoty čerpání specifikace funkce střídavého proudu na rozsahu 2 A.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [A]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
0,22; 120 Hz	3	5	0	0	0	-9	-12
1; 120 Hz	4	4	1	0	0	-3	-3
2; 120 Hz	0	0	0	0	0	-4	-3
2; 15 Hz	3	5	0	0	0	0	0
2; 60 Hz	0	0	0	0	0	-4	-3
2; 500 Hz	0	-5	0	0	-6	-8	-7
2; 1 kHz	3	0	0	0	0	-4	0

Tab. 7.7: Tabulka normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce střídavého proudu na rozsahu 2A pro vlhkost 40%

Z tabulky 7.7 byl vytvořen graf pro detailní zobrazení rozsahu 2A. Tento graf je zobrazen na obrázku 7.6.



Obr. 7.6: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách teploty pro jednotlivé body měření funkce střídavého proudu na rozsahu 2A při vlhkosti 40%

Z této tabulky lze vyčíst, že nejvyšších hodnot čerpání specifikace bylo dosaženo v bodě měření 0,22 A při frekvenci 120Hz. Při 33°C hodnota čerpání specifikace činila -12%. V grafu na obrázku 7.6 je zobrazena právě zvýšená hodnota v bodě měření 2,2V při frekvenci 120Hz, a to při všech měřených teplotách. Čerpání specifikace v ostatních bodech na tomto rozsahu nepřekročilo hranici $\pm 10\%$.

Na obrázku 7.15 v příloze č.2 je vyobrazen graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%. V grafu jsou zobrazeny body odpovídající hodnotám rozsahu, tedy 200 μ A, 2mA, 20mA, 200mA, 2A a 20A a frekvenci 120Hz. Z grafu lze vyčíst, že hodnota čerpání specifikace dosahuje maximální hodnoty pro bod měření 20A při teplotě 13°C. Detailní grafy pro všechny rozsahy funkce jsou uvedeny v elektronické příloze.

7.6.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.20 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizované hodnoty (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotě bodů měření střídavého proudu při teplotě 23°C. Tento graf je vytvořen z hodnot odpovídajícím frekvenci 60Hz. Na tomto grafu je vidět, že vlhkost zásadně neovlivňuje funkci střídavého napětí. Je zřejmé, že hodnoty na začátku jednotlivých rozsahů jsou ovlivněny více než hodnoty na středu a na konci rozsahů.

7.6.3 Shrnutí

Funkce střídavého proudu je nejvíce teplotně ovlivněna na rozsahu 200mA, 2A, 20A. Funkce není výrazně závislá na vlhkosti.

7.7 Odpor

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření odporu. Funkce odporu Kalibrátoru 9010 byly testovány při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

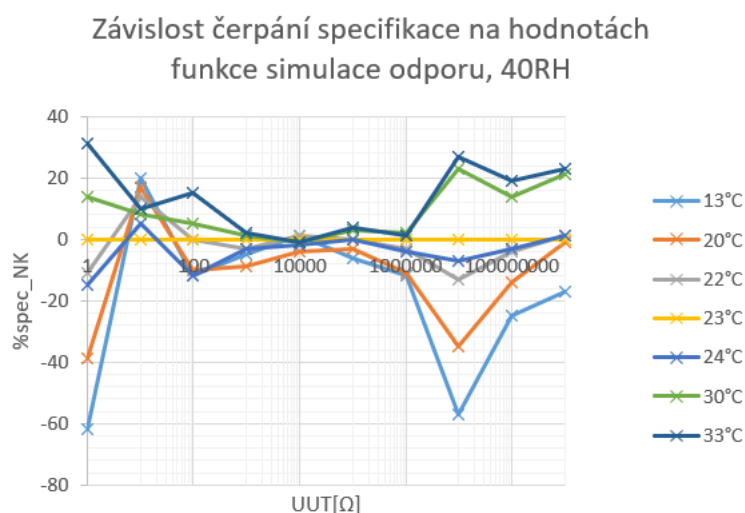
7.7.1 Závislost na teplotě

V tabulce 7.8 jsou vybrané naměřené hodnoty funkce odporu.

Relativní vlhkost 40%							
UTT [MΩ]	%spec_NK[%]						
	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
10	-57	-35	-13	0	-7	23	27
100	-25	-14	-4	0	-3	14	19
1000	-17	-1	1	0	1	21	23

Tab. 7.8: Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce odporu pro vlhkost 40%

Hodnoty z této tabulky je možno vidět také v grafu na obrázku 7.7.



Obr. 7.7: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce odporu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Hodnoty uvedené v tabulce odpovídají nejvyšším hodnotám odporu, tedy 10M Ω , 100M Ω a 1G Ω . Z tabulky je zřejmé, že funkce dosahuje nejvyšší hodnoty čerpání specifikace v bodě 10M Ω při teplotě 13°C. V tomto bodě čerpání specifikace dosahuje hodnoty -57%. Z grafu lze vyčíst, že teplotou jsou nejvíce ovlivněny odpory s nízkou a vysokou hodnotou. Čerpání specifikace v bodech měření 1k Ω , 10k Ω a 100k Ω se pochybuje v rozmezí $\pm 10\%$. Tyto body nejsou teplotou výrazně ovlivněny.

7.7.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.21 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření odporu při teplotě 23°C. Z tohoto grafu lze vyčíst, že vlhkost má největší vliv na nízké hodnoty odporu, tedy 1 Ω , 10 Ω a 100 Ω a dále na nejvyšší hodnotu odporu, tedy 1G Ω .

7.7.3 Shrnutí

Funkce odporu byla nejvíce vlhkostně ovlivněna v bodech měření 1 Ω , 10 Ω a 100 Ω a 1G Ω . Teplotou byla nejvíce ovlivněna v bodech 1 Ω , 10M Ω a 100M Ω a 1G Ω .

7.8 Stálý odpor

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření stálého odporu. Funkce stálého odporu Kalibrátoru 9010 byly testovány při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

7.8.1 Závislost na teplotě

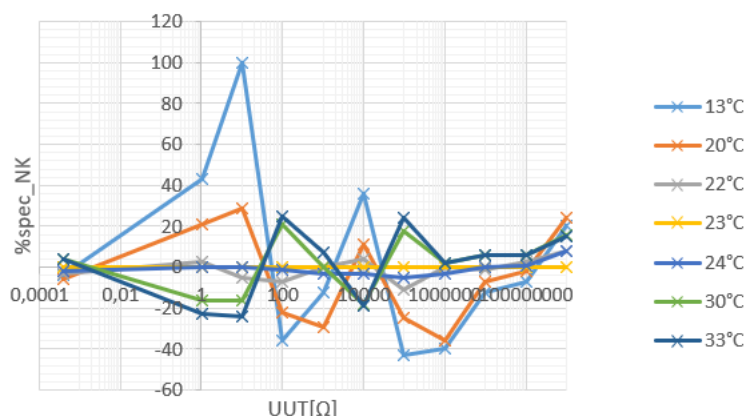
V tabulce 7.9 jsou vybrané naměřené hodnoty funkce stálého odporu.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [m Ω]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
0,4179	-4	-6	-3	0	-2	4	4
1002,9	43	21	3	0	0	-16	-23
10103,8	100	29	-5	0	0	-16	-24

Tab. 7.9: Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stálého odporu pro vlhkost 40%

Hodnoty zaznamenané v této tabulce můžeme vyčíst také z grafu na obrázku 7.8.

Závislost čerpání specifikace na hodnotách
funkce kapacita, 40RH



Obr. 7.8: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce stálého odporu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

V tabulce 7.9 jsou uvedeny hodnoty čerpání specifikace pro body měření 0,4179mΩ, 1,0029Ω a 10,1038Ω. V grafu je zřetelný výrazný nárůst čerpání specifikace v bodě 10,1038Ω pro teplotu 13°C. Čerpání specifikace v tomto bodě dosahuje hodnoty 100%. Právě v tomto bodě dosáhla hodnota čerpání specifikace pro všechny teploty vysoké hodnoty. Překvapivě vysoké hodnoty odporu nejsou výrazně teplotně závislé.

7.8.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.22 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálého odporu při teplotě 23°C. Vlhkost nejvíce ovlivňuje body měření 1kΩ, 1MΩ a 0,977GΩ. Čerpání specifikace nabývá nejvyšší hodnoty právě v bodě 0,977GΩ. Čerpání specifikace má v tomto bodě hodnotu 58%.

7.8.3 Shrnutí

Funkce odporu byla nejvíce teplotně ovlivněna v bodech měření 10Ω a 1GΩ. Vlhkost ovlivňovala nejvíce bod měření 1GΩ.

7.9 Kapacita

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření kapacity. Funkce kapacity Kalibrátoru 9010 byly testovány při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

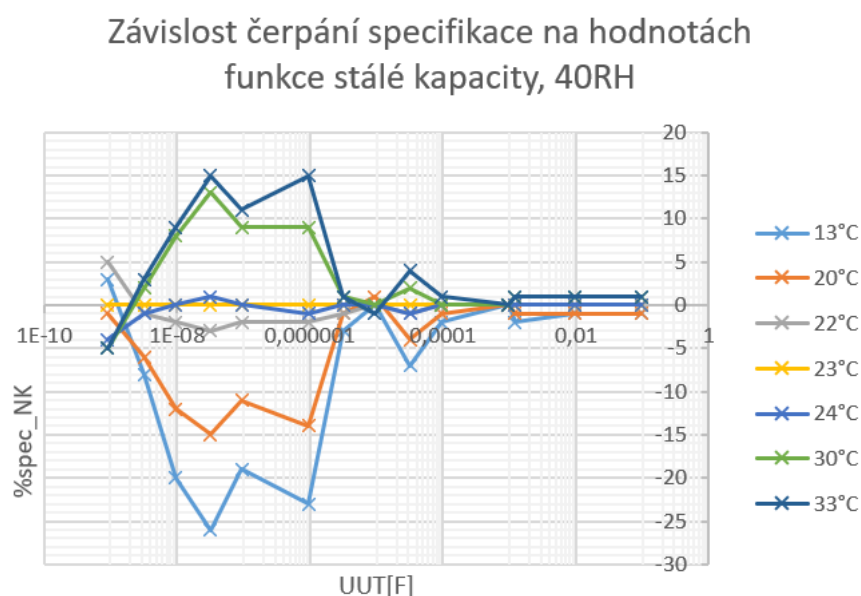
7.9.1 Závislost na teplotě

V tabulce 7.10 jsou vybrané naměřené hodnoty funkce kapacita.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [nF]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
9,5	-20	-12	-2	0	0	8	9
32	-26	-15	-3	0	1	13	15
100	-19	-11	-2	0	0	9	11

Tab. 7.10: Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce kapacita pro vlhkost 40%

Hodnoty z této tabulky jsou zaznamenány také v grafu na obrázku 7.9.



Obr. 7.9: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce kapacity pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

V tabulce 7.10 jsou uvedeny hodnoty čerpání specifikace pro body měření 9,5nF, 32nF a 100nF. Z grafu je možné vyčíst výrazný nárůst čerpání specifikace až do bodu 32nF pro všechny teploty. Od tohoto bodu se hodnota čerpání specifikace opět snižuje. Čerpání specifikace dosahuje nejvyšší hodnoty v bodě 32nF pro teplotu 13°C. Hodnota čerpání specifikace v tomto bodě dosahuje hodnoty -26%. Funkce stálé kapacity je nejvýznamněji ovlivněna teplotou 13°C. Při hodnocení dat byla zjištěna chyba v hodnotě měřeného bodu, kde namísto 300nF byla naměřena hodnota 300μF. Tento bod byl odstraněn z grafu aby nedošlo ke zkreslení.

7.9.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.23 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření kapacity při teplotě 23°C, z kterého je zřejmé, že je funkce kapacity vlhkostí nejvíce ovlivněna při nízkých hodnotách kapacity, tedy 0,9nF, 3,2nF a 9,5nF. Hodnota čerpání specifikace dosahuje hodnoty -33% v bodě měření 0,9nF.

7.9.3 Shrnutí

Funkce kapacity byla nejvíce teplotně ovlivněna v bodech měření 9,5nF, 32nF a 100nF. Vlhkost nejvíce ovlivnila hodnoty 0,9nF, 3,2nF a 9,5nF.

7.10 Stálá kapacita

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky měření stálé kapacity. Funkce stálé kapacity Kalibrátoru 9010 byly testovány při klimatických podmínkách definovaných v kapitole 4.2.

7.10.1 Závislost na teplotě

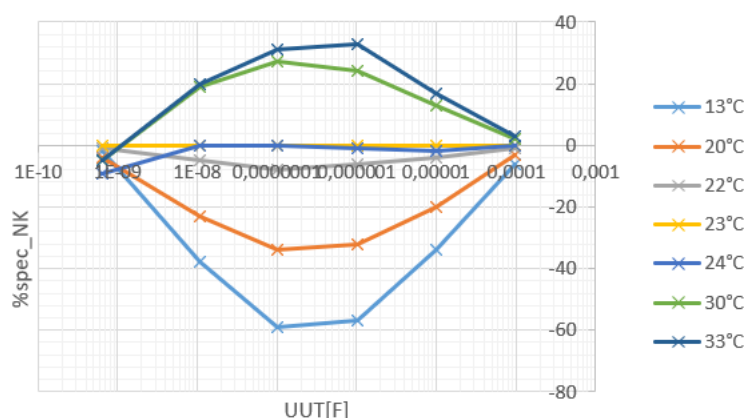
V tabulce 7.11 jsou vybrané naměřené hodnoty funkce odpor.

Relativní vlhkost 40%							
	%spec_NK[%]						
UTT [nF]	13°C	20°C	22°C	23°C	24°C	30°C	33°C
10,62	-38	-23	-5	0	0	19	20
101,56	-59	-34	-8	0	0	27	31
1007,89	-57	-32	-6	0	-1	24	33

Tab. 7.11: Tabulka vybraných normalizovaných hodnot čerpání specifikace funkce stálá kapacita pro vlhkost 40%

Hodnoty z této tabulky jsou zobrazeny také v grafu na obrázku 7.10.

**Závislost čerpání specifikace na hodnotách
funkce stálého odporu, 40RH**



Obr. 7.10: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na hodnotách funkce stálé kapacity pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

V tabulce 7.9 jsou uvedeny hodnoty čerpání specifikace pro body měření 10,62nF, 101,56nF a 1,00789μF. V grafu je zřetelný výrazný nárůst čerpání specifikace až do bodu 101,56nF pro všechny teploty. Od tohoto bodu se hodnota čerpání specifikace opět snižuje. Čerpání specifikace dosahuje nejvyšší hodnoty v bodě 101,56nF pro teplotu 13°C. Hodnota čerpání specifikace v tomto bodě dosahuje hodnoty -59%. Funkce stálé kapacity je nejvýznamněji ovlivněna teplotou 13°C.

7.10.2 Závislost na vlhkosti

Na obrázku 7.24 v příloze č.3 je zobrazen graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálé kapacity při teplotě 23°C. Z grafu je zřejmé, že je funkce kapacita vlhkostí nejvíce ovlivněna při nízkých hodnotách kapacity, tedy 0,648nF, 10,620nF a 101,56nF. Hodnota čerpání specifikace dosahuje hodnoty -30%, v bodě měření 0,648nF.

7.10.3 Shrnutí

Funkce kapacity byla nejvíce teplotně ovlivněna v bodech 10,62nF, 101,56nF a 1,00789μF. Funkce kapacita byla vlhkostí nejvíce ovlivněna při nízkých hodnotách kapacity, tedy 0,648nF, 10,620nF a 101,56nF.

7.11 Shrnutí výsledků

Závislost testovaných funkcí na teplotě je vysoká převážně v krajních hodnotách rozsahů funkcí. Ve specifikaci manuálu jsou uvedeny parametry pro korekci teploty, které mohou být na základě tohoto měření upraveny. Jak je možno vidět z kapitol výše, bylo by zapotřebí specifikace doplnit také o parametry pro korekci vlhkosti. Toto zhodnocení výsledků bude poskytnuto firmě Meatest k možné úpravě specifikací přístroje. Kalibrátor 9010 nevyhověl v několika bodech specifikace přístroje, to však nebylo předmětem měření. Kalibrátor samotný nebyl zkalibrovaný s dostatečnou přesností. V této práci se řešilo pouze, jak teplota a vlhkost prostředí ovlivňují funkčnost přístroje.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vlhkostní a teplotní závislosti jednotlivých základních funkcí kalibrátoru 9010, který je vyvíjen firmou Meatest. Během klimatických zkoušek byl Kalibrátor 9010 umístěn uvnitř klimatické komory Climacell 222, kde se v průběhu jednotlivých měření měnila teplota a vlhkost. Jako kontrolní měřicí přístroj byl použit multimetr FLUKE 8588A. Tento přístroj měřil při stálých laboratorních podmínkách, tedy 23 ± 1 C.

V rámci seznamování se s klimatickými zkouškami byla vytvořena literární rešerše právě na toto téma. Také zde byly popsány vybrané druhy zkoušek podobné právě klimatické zkoušce specifikované v této práci. Obsah kapitoly 1, zabývající se právě problematikou klimatických zkoušek, byl čerpám ze souboru norem s označením ČSN EN 60068.

V kapitole 2 byl popsán program Caliber, který v této práci sloužil k vytváření procedur umožňujících automatickou kalibraci. Byly rozebrány jeho jednotlivé moduly a stručně popsány jejich vlastnosti.

Dále byly popsány specifikace a vlastnosti přístroje Kalibrátoru 9010. Především se jednalo o specifikace v oblasti teploty a vlhkosti. Popis přístrojů používaných během klimatických zkoušek je uveden v kapitole 3.

Díky znalosti specifikací přístrojů byly navrženy body testování, při kterých probíhalo měření pro jednotlivé hodnoty veličin generované Kalibrátorem 9010. Z těchto informací se vycházelo při tvorbě procedur v programu Caliber. Tyto procedury umožňují automatizované měření.

Dále byl vytvořen postup měření, který vychází z jednotlivých druhů klimatických zkoušek definovaných normami. Tento postup měření pak byl aplikován na klimatické zkoušky, které byly prováděny v laboratoři firmy Meatest. Měření probíhalo automatizovaně za pomoci prostředí programu Caliber s využitím procedur vytvořených v této práci.

Z dat naměřených během klimatických zkoušek byly vyhotoveny tabulky a grafy. V kapitole 7 je pro jednotlivé zkoušené funkce zhodnocena závislost na teplotě a vlhkosti. Klimatickými zkouškami bylo zjištěno, že závislost testovaných funkcí na teplotě je vysoká převážně v krajních hodnotách rozsahu funkcí. Dále z měření vyplynulo, že by bylo zapotřebí specifikace doplnit o parametry pro korekci vlhkosti. Toto zhodnocení výsledků bude poskytnuto firmě Meatest k možné úpravě specifikací přístroje.

Literatura

- [1] ČSN EN 60068-1 Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 1: Všeobecně a návod, ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 32 s. Třídící znak 34 5791
- [2] ČSN EN 60068-2-1 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-1: Zkoušky - Zkouska A: Chlad, ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [3] ČSN EN 60068-2-2 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-2: Zkoušky - Zkouska B: Suché teplo. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [4] ČSN EN 60068-2-14 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-14: Zkoušky - Zkouska N: Změna teploty, ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 20 s. Třídící znak 34 5791
- [5] ČSN EN 60068-2-30 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-30: Zkoušky - Zkouska Dd: Vlhké teplo cyklické (cyklus 12 h +12 h), ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [6] ČSN EN 60068-2-38 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-38: Zkoušky - Zkouska Z/AD: Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [7] ČSN EN 60068-2-78 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 2-78: Zkoušky - Zkouska Cab: Vlhké teplo konstantní, ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [8] ČSN EN 60068-3-1 Základní zkoušky vlivu prostředí. Část 3-1: Doprovodná dokumentace a návod - Zkoušky chlazen a suchým teplem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 16 s. Třídící znak 34 5791
- [9] MEATEST. CALIBER: Uživatelská příručka [online], [cit. 23.12.2020]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/cs/produkty-caliber-automated-calibration-software-detail-3913?tabs=downloads>

- [10] MEATEST. 9010 Multifunction Calibrator user manual [online], [cit. 25.12.2020]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/en/documents/download/dfi%7C6e72baf7-9fef-4e1b-ac01-0ef8d583615e>
- [11] FLUKE Calibration. 8588A Product Specification [online], [cit. 11.5.2020]. Dostupné z: <https://us.flukecal.com/literature/product-literature/specifications/8588a-product-specifications>
- [12] CLIMACELL 111, 222, 404, 707. Operating instructions [online], [cit. 11.5.2020]. Dostupné z: https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/EU/MMM-Medcenter/manuals/MMM006_EN%20CLIMACELL_en_np_mmm%200208_V1.07.pdf
- [13] MEATEST. Caliber - program pro automatizované kalibrace [online], [cit. 14.5.2021]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/cs/produkty-caliber-automated-calibration-software-detail-3913>
- [14] Dojava, V. Klimatické zkoušky procesního kalibrátoru M143. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 110s.

Seznam příloh

Příloha 1. Tabulky bodů měření klimatických zkoušek pro jednotlivé funkce

Příloha 2. Grafy čerpání specifikace

Příloha 3. Grafy čerpání specifikace z normalizovaných hodnot

Příloha 4. Laboratorní pracoviště

Příloha 5. Elektronická příloha CD

Příloha č.1 Tabulky bodů měření klimatických zkoušek pro jednotlivé funkce

VDC-2W			
Rozsah 20mV	Rozsah 200mV	Rozsah 2V	Rozsah 20V
U	U	U	U
2.00000 mV	22.00000 mV	0.2200000 V	2.2000000 V
10.00000 mV	100.00000 mV	1.0000000 V	10.000000 V
20.00000 mV	200.0000 mV	2.0000000 V	20.00000 V
-2.00000 mV	-22.00000 mV	-0.2200000 V	-2.2000000 V
-10.00000 mV	-100.00000 mV	-1.0000000 V	-10.000000 V
-20.00000 mV	-200.0000 mV	-2.0000000 V	-20.00000 V

VDC-2W		
Rozsah 100V	Rozsah 280V	Rozsah 1050V
U	U	U
21.00000 V	101.00000 V	0.2810000 kV
50.00000 V	200.0000 V	0.5300000 kV
100.00000 V	280.0000 V	1.00000 kV
-21.00000 V	-101.00000 V	-0.2810000 kV
-50.00000 V	-200.0000 V	-0.5300000 kV
-100.00000 V	-280.0000 V	-1.000000 kV

Tab. 7.12: Body měření funkce stejnosměrného napětí

IDC		
Rozsah 200uA	Rozsah 2mA	Rozsah 20mA
I	I	I
20.00000 uA	0.2200000 mA	2.200000 mA
100.0000 uA	1.000000 mA	10.00000 mA
200.0000 uA	2.000000 mA	20.0000 mA
-20.00000 uA	-0.2200000 mA	-2.200000 mA
-100.0000 uA	-1.000000 mA	-10.00000 mA
-200.0000 uA	-2.000000 mA	-20.0000 mA

IDC		
Rozsah 200mA	Rozsah 2A	Rozsah 20A
I	I	I
22.0000 mA	0.22000 A	2.20000 A
100.0000 mA	1.00000 A	10.0000 A
200.00 mA	2.00000 A	20.000 A
-22.0000 mA	-0.22000 A	-2.20000 A
-100.0000 mA	-1.00000 A	-10.0000 A
-200.00 mA	-2.00000 A	-20.000 A

Tab. 7.13: Body měření funkce stejnosměrného proudu

VAC-2W							
Rozsah 20mV		Rozsah 200mV		Rozsah 2V		Rozsah 20V	
U	f	U	f	U	f	U	f
2.0000 mV	60Hz	22.0000 mV	60Hz	0.220000 V	60Hz	2.20000 V	60Hz
15.0000 mV	60Hz	100.000 mV	60Hz	1.000000 V	60Hz	10.00000 V	60Hz
20.0000 mV	15Hz	200.000 mV	15Hz	2.00000 V	15Hz	20.0000 V	15Hz
20.0000 mV	60Hz	200.000 mV	60Hz	2.00000 V	60Hz	20.0000 V	60Hz
20.0000 mV	1kHz	200.000 mV	1kHz	2.00000 V	120Hz	20.0000 V	1kHz
20.0000 mV	10kHz	200.000 mV	10kHz	2.00000 V	1kHz	20.0000 V	10kHz
20.0000 mV	30kHz	200.000 mV	30kHz	2.00000 V	10kHz	20.0000 V	30kHz
20.000 mV	50kHz	200.00 mV	50kHz	2.00000 V	30kHz		
20.000 mV	100kHz	200.00 mV	100kHz	2.0000 V	50kHz		
20.000 mV	300kHz	200.00 mV	300kHz	2.0000 V	100kHz		

VAC-2W					
Rozsah 100V		Rozsah 280V		Rozsah 1050V	
U	f	U	f	U	f
21.0000 V	60Hz	101.0000 V	60Hz	0.281000 kV	60Hz
50.0000 V	60Hz	140.000 V	60Hz	0.530000 kV	60Hz
100.0000 V	15Hz	280.000 V	15Hz	1.00000 kV	20Hz
100.0000 V	60Hz	280.000 V	60Hz	1.00000 kV	60Hz
100.0000 V	1kHz	280.000 V	1kHz	1.00000 kV	1kHz
100.000 V	10kHz	280.000 V	10kHz		
100.000 V	30kHz				

Tab. 7.14: Body měření funkce střídavého napětí

IAC-2W					
Rozsah 200uA		Rozsah 2mA		Rozsah 20mA	
I	f		f	I	f
22.000 uA	120Hz	0.22000 mA	120Hz	2.2000 mA	120Hz
100.000 uA	120Hz	1.00000 mA	120Hz	10.0000 mA	120Hz
200.00 uA	120Hz	2.0000 mA	120Hz	20.000 mA	120Hz
200.00 uA	15Hz	2.0000 mA	15Hz	20.000 mA	15Hz
200.00 uA	60Hz	2.0000 mA	60Hz	20.000 mA	60Hz
200.00 uA	1kHz	2.0000 mA	1kHz	20.000 mA	1kHz
200.00 uA	10kHz	2.0000 mA	10kHz	20.000 mA	10kHz

IAC-2W					
Rozsah 200mA		Rozsah 2A		Rozsah 20A	
I	f	I	f	I	f
22.000 mA	120Hz	0.22000 A	120Hz	2.2000 A	120Hz
100.000 mA	120Hz	1.00000 A	120Hz	10.0000 A	120Hz
200.00 mA	15Hz	2.0000 A	120Hz	20.000 A	120Hz
200.00 mA	60Hz	2.0000 A	15Hz	20.000 A	15Hz
200.00 mA	120Hz	2.0000 A	60Hz	20.000 A	60Hz
200.00 mA	1kHz	2.0000 A	500Hz	20.000 A	500Hz
200.00 mA	5kHz	2.0000 A	1kHz	20.000 A	1kHz

Tab. 7.15: Body měření funkce střídavého proudu

RDC	
Rozsah	Kontrolované body
10 Ohm	1.000000 Ohm
10 Ohm	10.000000 Ohm
100 Ohm	100.000000 Ohm
1 kOhm	1.0000000 kOhm
10 kOhm	10.000000 kOhm
100 kOhm	100.00000 kOhm
1 MOhm	1.000000 MOhm
10 MOhm	10.00000 MOhm
100 MOhm	100.000 MOhm
1 GOhm	1.0000 GOhm

Tab. 7.16: Body měření funkce odporu

C-2W	
Rozsah	Kontrolované body
1 nF	0.9000 nF
3.3 nF	3.2000 nF
10 nF	9.500 nF
33 nF	32.000 nF
100 nF	95.000 nF
330 uF	320.00 uF
1 uF	0.95000 uF
3.33 uF	3.2000 uF
10 uF	9.5000 uF
33 uF	32.000 uF
100 uF	95.00 uF
1 mF	0.9500 mF
10 mF	1.2000 mF
10 mF	9.500 mF
120 mF	95.00 mF

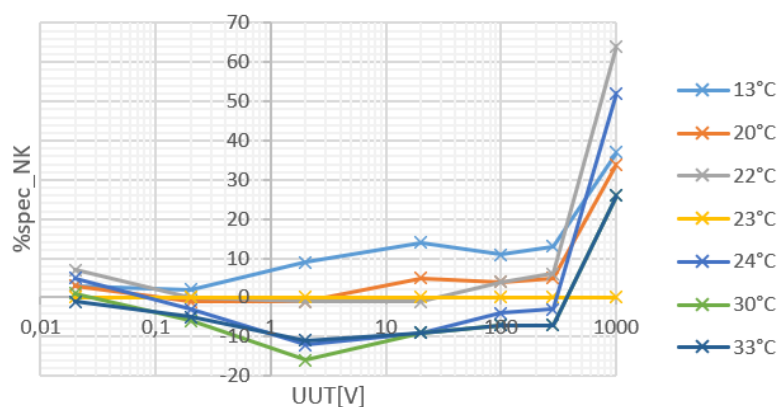
Tab. 7.17: Body měření funkce kapacity

LVR_FIX_	C_FIX_2W
0.3970 mOhm	0.6480 nF
1.003070 Ohm	10.620 nF
10.10443 Ohm	101.560 nF
101.00620 Ohm	1.00789 uF
1.0001400 kOhm	9.9645 uF
10.000010 kOhm	98.84 uF
99.99616 kOhm	
0.999134 MOhm	
9.95581 MOhm	
100.025 MOhm	
0.9765 GOhm	

Tab. 7.18: Body měření funkce stálého odporu a stálé kapacity

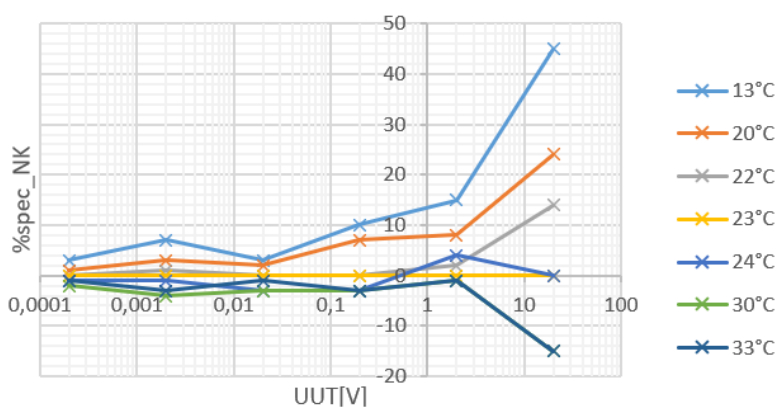
Příloha 2. Grafy závislosti na teplotě

Graf funkce VDC-2W z vybraných záporných hodnot pro jednotlivé teploty



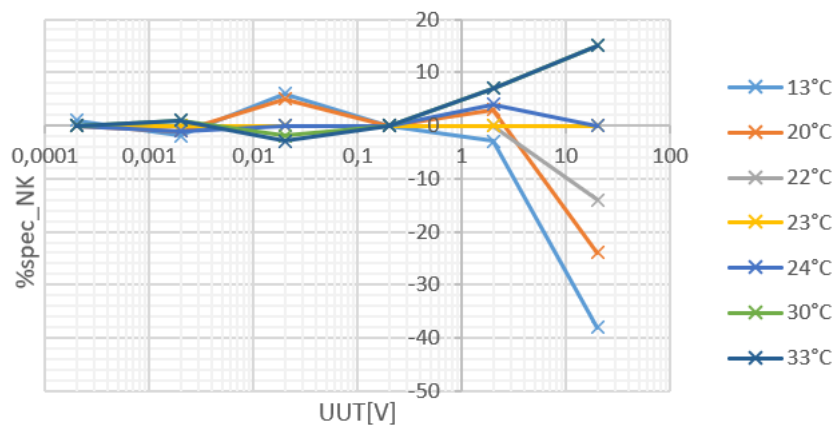
Obr. 7.11: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných záporných hodnotách funkce stejnosměrného napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Graf funkce IDC z vybraných kladných hodnot pro jednotlivé teploty



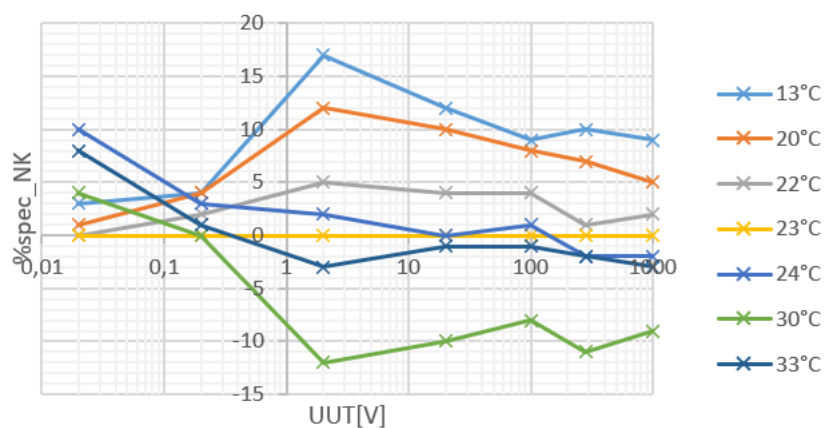
Obr. 7.12: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných kladných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Graf funkce IDC z vybraných záporných hodnot pro jednotlivé teploty



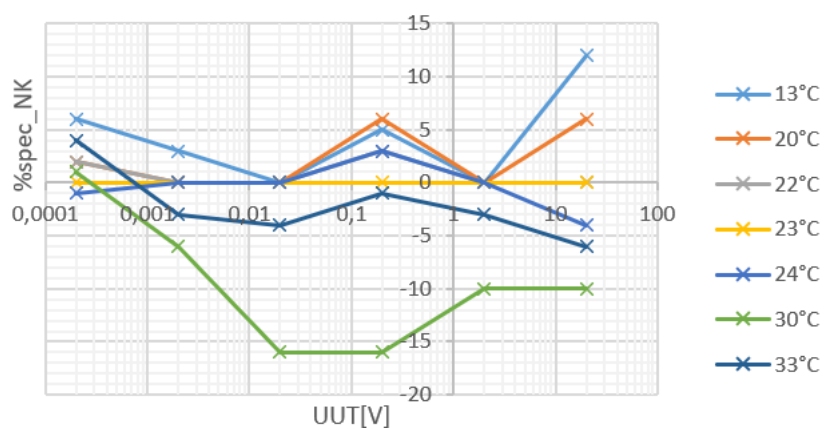
Obr. 7.13: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných záporných hodnotách funkce stejnosměrného proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Graf funkce VAC-2W z vybraných hodnot pro jednotlivé teploty



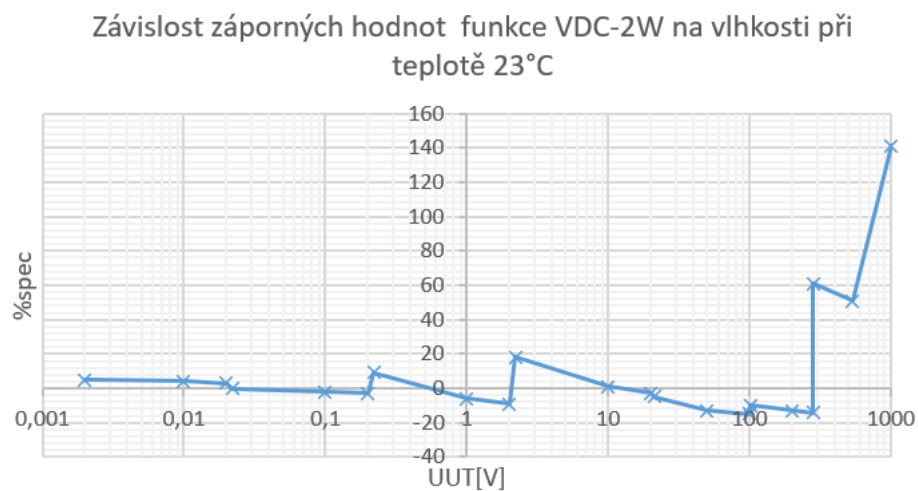
Obr. 7.14: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého napětí pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Graf funkce IAC z vybraných hodnot pro jednotlivé teploty

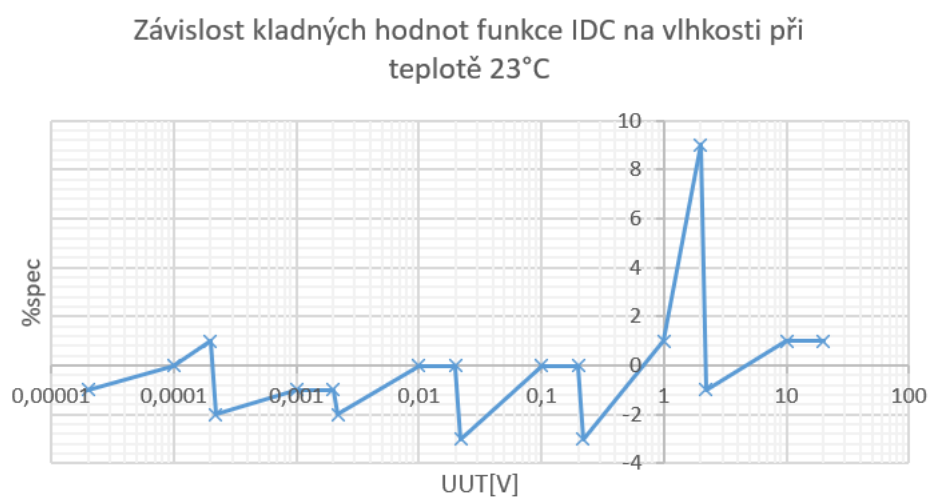


Obr. 7.15: Graf závislosti normalizované hodnoty čerpání specifikace na vybraných hodnotách funkce střídavého proudu pro jednotlivé teploty při vlhkosti 40%

Příloha 3. Grafy závislosti na vlhkosti

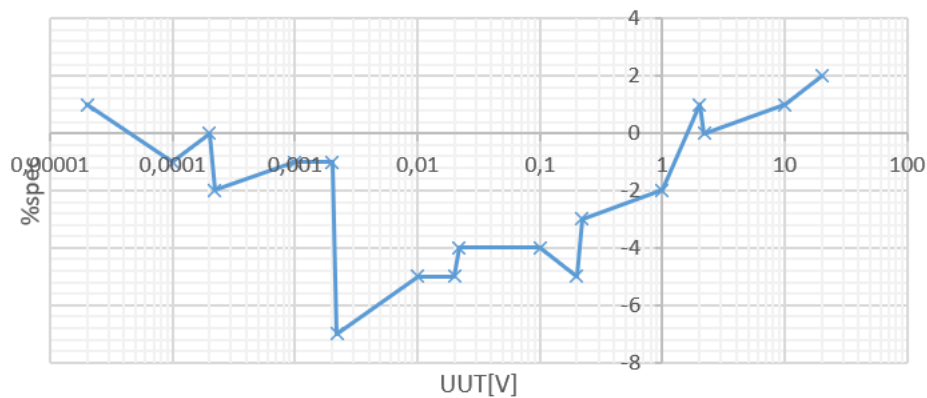


Obr. 7.16: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na záporných hodnotách bodů měření stejnosměrného napětí při teplotě 23°C



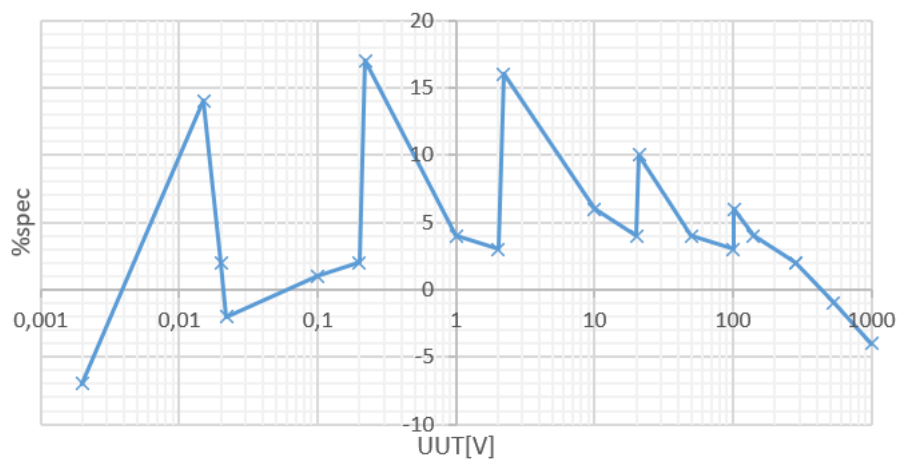
Obr. 7.17: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na kladných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C

Závislost záporných hodnot funkce IDC na vlhkosti při teplotě 23°C

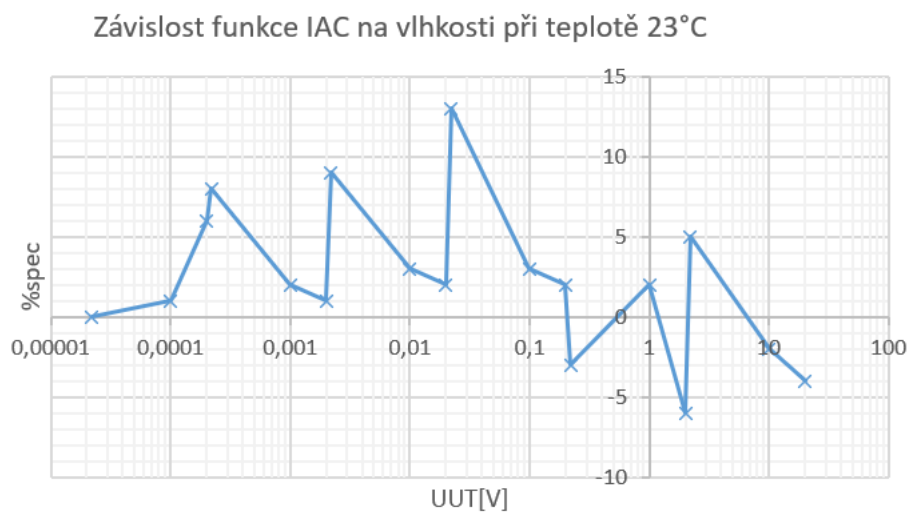


Obr. 7.18: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na záporných hodnotách bodů měření stejnosměrného proudu při teplotě 23°C

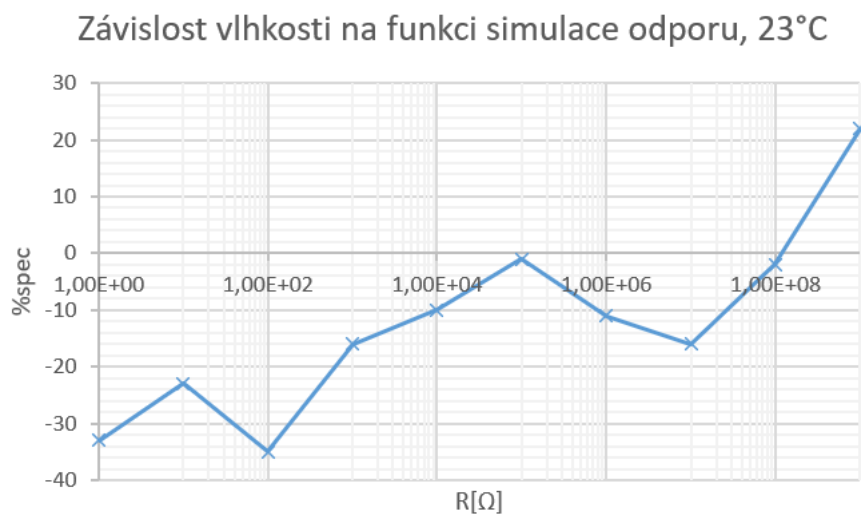
Závislost funkce VAC-2W na vlhkosti při teplotě 23°C



Obr. 7.19: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření střídavého napětí při teplotě 23°C

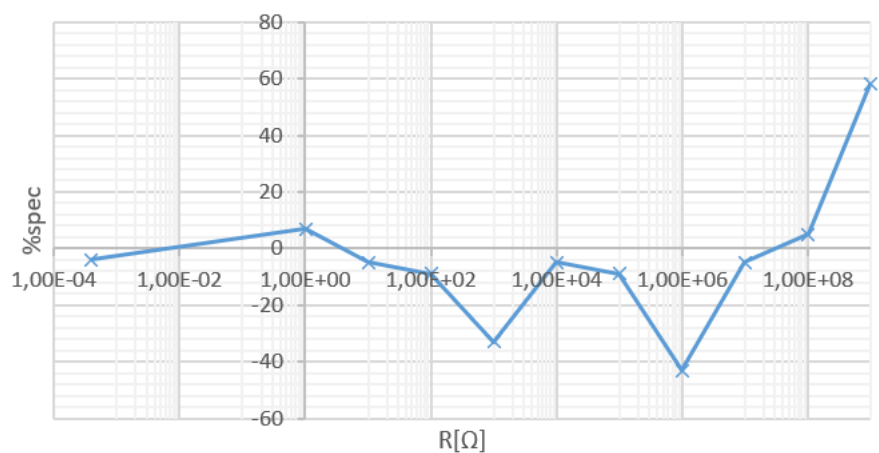


Obr. 7.20: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření střídavého proudu při teplotě 23°C



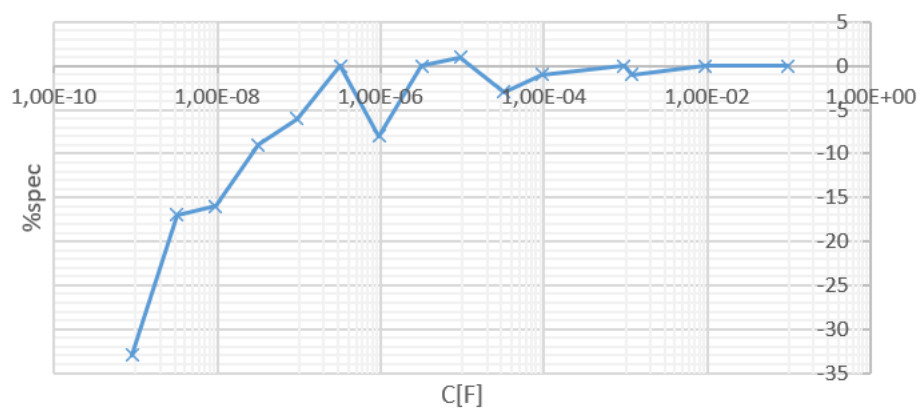
Obr. 7.21: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření odporu při teplotě 23°C

Závislost vlhkosti na funkci stálého odporu, 23°C



Obr. 7.22: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálého odporu při teplotě 23°C

Závislost vlhkosti na funkci simulace kapacity, 23°C

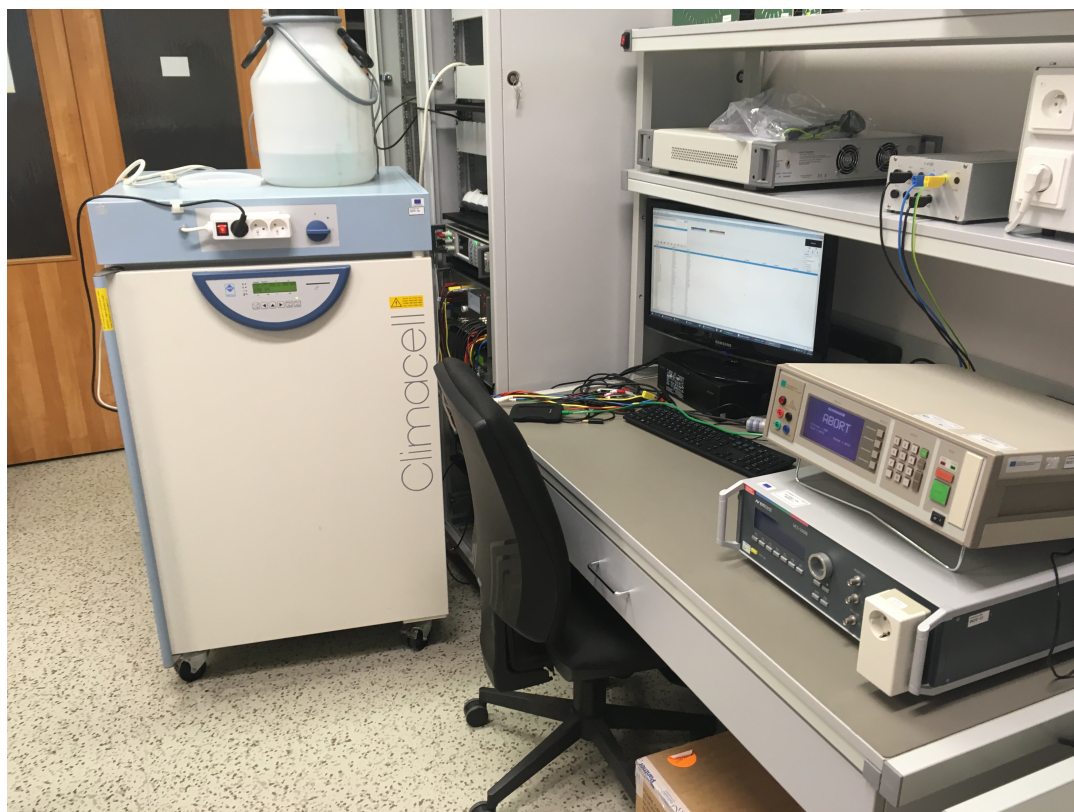


Obr. 7.23: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření kapacity při teplotě 23°C



Obr. 7.24: Graf závislosti normalizovaných hodnot (na vlhkost 40%) čerpání specifikace na hodnotách bodů měření stálé kapacity při teplotě 23°C

Příloha 4. Laboratorní pracoviště



Obr. 7.25: Fotografie laboratorního pracoviště

Příloha 5. Elektronická příloha CD

Obsah elektronické přílohy

- Originální protokoly naměřené programem Caliber
- Procedura pro klimatické testování funkcí odporu, stálého odporu, kapacity a stálé kapacity - 9010RC.PRE
- Procedura pro klimatické testování funkcí stejnosměrného napětí, stejnosměrného proudu, střídavého napětí, střídaného proudu - 9010UI.PRE
- Tabulky naměřených a vypočtených hodnot pro klimatické testování funkcí odporu, stálého odporu, kapacity a stálé kapacity - GRAFY_A_TABULKY_RC_TAB.15-28
- Tabulky naměřených a vypočtených hodnot pro klimatické testování funkcí stejnosměrného napětí, stejnosměrného proudu, střídavého napětí, střídaného proudu - GRAFY_A_TABULKY_UI_TAB.1-14
- Elektronická verze této práce - Klimatické zkoušky kalibrátoru 9010, Plánka Mikuláš, 2021.pdf